

THÈSES

PRESENTÉES À LA
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY
POUR OBTENIR LE DIPLÔME DE
DOCTEUR - INGÉNIEUR

par

GILLES VALLÉE

PREMIÈRE THÈSE

NOUVELLES CONTRIBUTIONS À L'ÉTUDE DU RÔLE DU MANGANÈSE DANS LA RÉGÉNÉRATION DE LA SAPINIÈRE VOSGIENNE

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITION DONNÉE PAR LA FACULTÉ:

UTILISATION DES RELATIONS ENTRE LA VÉGÉTATION DU SOUS-BOIS
ET LA PRODUCTIVITÉ DES STATIONS POUR LA CLASSIFICATION DES FORÊTS

Soutenues le 30 juin 1966 devant la Commission d'Examen

JURY:

Président: M. Ph. DUCHAUFOR

Examineurs: M. F. MANGENOT, M. M. BONNEAU, M. Y. DOMMERGUES

THESES
présentées
A LA FACULTE DES SCIENCES DE L'UNIVERSITE DE NANCY
pour obtenir le diplôme de
DOCTEUR - INGENIEUR

par
Gilles VALLEE

1ère Thèse

NOUVELLES CONTRIBUTIONS A L'ETUDE DU RÔLE DU
MANGANESE DANS LA REGENERATION DE LA
SAPINIERE VOSCIENNE

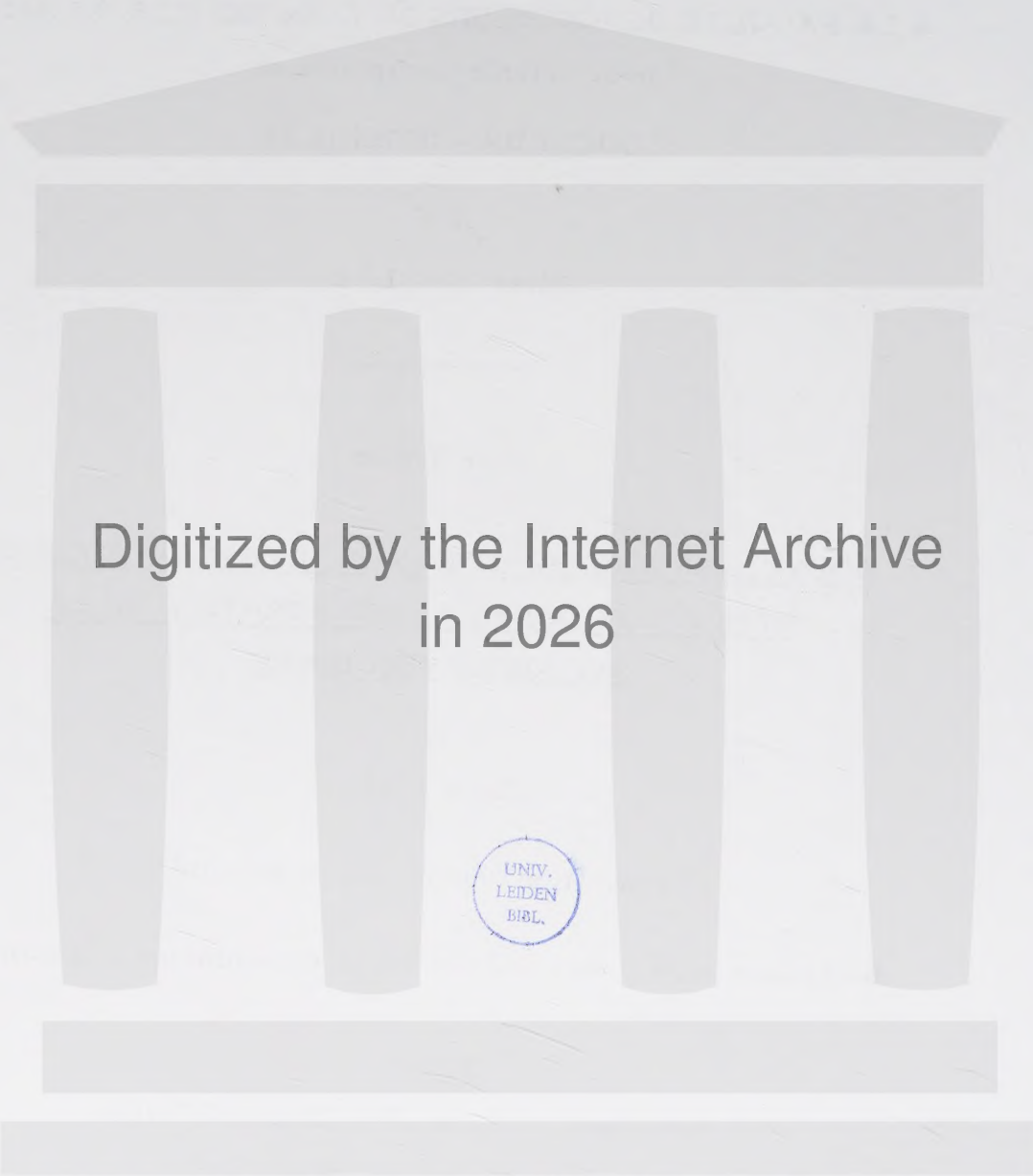
2ème Thèse

Proposition donnée par la Faculté

Soutenues le 30 Juin 1966 devant la Commission d'Examen

JURY :

Président : M. Ph. DUCHAUFOR
M. F. MANGENOT
Examineurs : M. M. BONNEAU
M. Y. DOMMERGUES



Digitized by the Internet Archive
in 2026



https://archive.org/details/IA41551914_0020

Doyen : M. AUBRY

Assesseur : M. GAY

Doyens honoraires : MM. CORNUBERT - DELSARTE - URION - ROUBAULT -Professeurs honoraires : MM. CROZE - RAYBAUD - LAFITTE - LERAY - JULY - LAPORTE - EICHHORN - CODEMENT - DUBREUIL - L. SCHWARTZ - DIEUDONNE - de MALLEMANN - LONGCHAMBON - LETORT - DODE - GAUTHIER - GOUDET - OLMER - CORNUBERT - CHAPELLE - GUERIN - WAHL -Maîtres de conférences honoraires : MM. LIENHART - PIERRET -Professeurs

MM. URION	Chimie biologique	xMM. MALAPRADE	Chimie
DELSARTE	Analyse supérieure	MANGENOT	Botanique
ROUBAULT	Géologie	GAYET	Physiologie
CAPELLE	Mécanique rationnelle	BONVALET	Mécanique appliquée
VEILLET	Biologie animale	HADNI	Physique
BARRIOL	Chimie théorique	x BASTICK	Chimie
BIZETTE	Physique	x KERN	Minéralogie
GUILLIEN	Electronique	DUCHAUFOR	Pédologie
GIBERT	Chimie physique	GARNIER	Agronomie
LEGRAS	Mécanique rationnelle	x WEPPE	Minéralogie appliquée
BOLFA	Minéralogie et cristallographie	NEEL	Chimie organique indus- trielle
NICLAUSE	Chimie	BERNARD	Géologie appliquée
FAIVRE	Physique appliquée	x CHAMPIER	Physique
AUBRY	Chimie minérale	x GAY	Chimie biologique
COPPENS	Radiogéologie	x REGNIER	Physico-chimie
DUVAL	Chimie	STEPHAN	Zoologie
FRUHLING	Physique	x CONDE	Zoologie
HILLY	Géologie	x WERNER	Botanique
LE GOFF	Génie chimique	EYMARD	Calcul différentiel et intégral
SUHNER	Physique expérimentale	LEVISAILLES	Chimie organique
CHAPON	Chimie biologique	Mme HERVE	Méthodes mathématiques de la physique
HEROLD	Chimie minérale industrielle	x GOSSE	Mécanique physique
B. SCHWARTZ	Exploitation minière	FELDEN	Physique

ANNEE SCOLAIRE 1965 - 1966

x Professeur titulaire à titre personnel -

Maîtres de Conférences

Mme BASTICK	Chimie M.P.C. (Epinal)
MM. GUEFIN	Physique
ROCCI	Géologie
VUILLAUME	Physichophysiologie
FRENTZ	Biologie animale
HORN	Physique propédeutique
LAFON	Physique (I.N.S.I.N.)
MARI	Chimie (I.S.I.N.)
AUROUZE	Géologie
DEVIOT	Physique du solide
FLECHON	Physique M.P.C.
Mle HUET	Mathématiques S.P.C.N.
VIGNES	Métallurgie
BALESDENT	Thermodynamique chimique appliquée
BLAZY	Minéralogie appliquée (E.N.S.G.)
JANOT	Physique M.P.C. (Epinal)
JACQUIN	Pédologie et chimie agricole
MAINARD	Physique M.G.P.
CACHAN	Entomologie appliquée (E.N.S.A.)
MARTIN	Chimie M.P.C.
N...	Probabilités et statistiques
N...	Mécanique (I.S.I.N.)
N...	Mathématiques
N...	Mécanique expérimentale
N...	Génie chimique
N...	Mathématiques M.P.C.
N...	Mathématiques S.P.C.N.
N...	Mécanique des fluides (I.S.I.N.)
N...	Physiologie animale

AVANT - PROPOS

L'auteur remercie :

- Monsieur le Professeur DUCHAUFOUR -

pour l'avoir dirigé par son enseignement et ses conseils judicieux et avoir permis la réalisation de certains travaux au Centre de Pédologie du C.N.R.S.

- Monsieur SILVY-LELIGOIS -

qui le premier l'a orienté vers ce sujet de thèse.

- Tout particulièrement Monsieur BONNEAU, Directeur de la Station de Recherches sur les Sols forestiers et la Fertilisation du C.N.R.F. -

qui, par ses attentions et ses conseils, a guidé et encouragé la réalisation de cette thèse, tout en permettant le déroulement d'expériences dans le laboratoire de la station.

- Monsieur DOMMERGUES maître de recherches au C.N.R.S. -

qui a veillé à la réalisation des expériences et analyses microbiologiques dans son laboratoire.

- Monsieur PARDE, directeur de la station de Sylviculture du C.N.R.F.

pour avoir facilité l'échantillonnage foliaire en mettant du personnel à sa disposition.

- Monsieur TOMASSONE, chargé de recherches à la station de Biométrie au C.N.R.F.

qui a conseillé et programmé les analyses statistiques de la thèse.

- Messieurs MANGENOT, JACQUIN et SOUCHIER -

qui par leurs apports techniques ou leurs critiques ont collaboré à ce travail.

- Messieurs VINEY, VENET et CHESNEAU de la direction de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts -

pour avoir facilité mon séjour à Nancy par leur bienveillance.

- Le Personnel des Eaux et Forêts, du Laboratoire de Microbiologie du C.N.R.S. et de la Station de Recherches sur les Sols forestiers et la Fertilisation du C.N.R.F.

pour leur collaboration.

- Le Ministère des Terres et Forêts de la Province de QUEBEC, Canada,

dont les subventions ont permis la réalisation de cette thèse ;
ainsi que Monsieur SMITH, directeur du bureau de sylviculture à Québec
pour son encouragement.

- Le Président du Jury : Monsieur le Professeur DUCHAUFOUR

ainsi que les examinateurs : Monsieur le Professeur MANGENOT
Monsieur BONNEAU
et Monsieur DOMMERGUES

d'avoir accepté de juger ce travail.

A mes PARENTS je dédie cette thèse.

S O M M A I R E

INTRODUCTION GENERALE	1
PREMIERE PARTIE - Etude de la nutrition du sapin pectiné (Abies pectinata D.C.) d'après cinq stations vos- giennes : la nutrition en manganèse dans ses rap- ports avec la nutrition générale.....	3
INTRODUCTION	4
CHAPITRE I - <u>Description des stations et analyses des sols.</u>	5
II - Description sommaire des stations	
III - Station I	5
II2 - Station 2	5
II3 - Station 3	6
II4 - Station 4	6
II5 - Station 5	7
I2 - Analyses des sols des stations	6
CHAPITRE 2 - <u>Techniques, résultats et interprétation des analyses foliaires.</u>	
2I - Techniques des analyses foliaires	11
2II - Prélèvements des échantillons foliaires	11
2I2 - Séchage des échantillons	11
2I3 - Minéralisation des tissus et dosages..	11
A) Minéralisation	11
B) Dosage	12
22 - Résultats et interprétations des analyses ... foliaires.	13
22I - Tableaux des résultats avec moyennes pour chaque station. Erreur sur la moyenne.	13
22II - Station I	14
22I2 - Station 2	14
22I3 - Station 3	16
22I4 - Station 4	17
22I5 - Station 5	19

222 - Résumé des teneurs foliaires moyennes de chaque station - Interprétation.....	20
223 - Résumé des résultats d'analyses foliaires des semis.	21
224 - Comparaison des sols et des stations	23
225 - Relation entre les teneurs et les données dendrométriques.....	24
CHAPITRE 3 - <u>Analyses statistiques</u> -	26
3I - Les éléments et groupes d'éléments différen- ciant les mieu ~~x~~ les stations d'après les te- neurs foliaires moyennes des stations.	26
3II - Analyse de variances des teneurs moyen - nes des stations.	26
A) Résultats	26
B) Conclusions	27
3I2 - Analyse discriminante progressive des éléments d'après les teneurs moyennes des stations.	27
A) Principe	27
B) Résultats	28
C) Conclusions	28
32 - Comparaison des stations par couple. Déter- mination des éléments caractérisant la roche-mère et les humus.	29
A) Principe	29
B) Résultats	29
C) Conclusions	30
33 - Essai d'expression synthétique de la nutri- tion des sapins pectinés des cinq stations d'après les teneurs foliaires en N, P205, Mg, K, Ca, Mn et Fe.	
33I - Principe	31
332 - Analyse des composantes principales sur les teneurs moyennes des stations.	32
A) Résultats	32
B) Conclusions	33

333 - Analyse des composantes principales sur la population globale des cinq stations....	35
A) Résultats	35
B) Conclusion	35
34 - Inter-relation entre les éléments	39
A) Coefficients de corélations inter-station	39
B) Coefficients de corélations intra-station et total	39
C) Conclusions	40
CONCLUSIONS GENERALES -	49
DEUXIEME PARTIE - Expériences au Laboratoire : Etude de l'oxydo- réduction et de l'évolution du manganèse dans les mull et moder de sapinière.....	52 ²
INTRODUCTION	52 ³
CHAPITRE I - <u>Expérience en milieu liquide - Action des microflores d'humus Mull et Moder sur deux formes du Manganèse</u>	
II - Description de l'expérience	52 ⁴
III - Méthodologie	52 ⁴
II2 - Les milieux de culture pure	52 ⁴
II3 - Caractéristiques des humus	53
II4 - Technique de détermination du Mn soluble	54
I2 - Résultats et interprétations	
I2I - Milieu de culture enrichi en MnO ₂	55
a) Evolution du pH des milieux	55
b) Evolution du Mn soluble des milieux ..	56
c) Courbes d'oxydo-réduction et des pH..	56
I22 - Conclusions	61
I23 - Milieu de culture enrichi en Mn SO ₄	64
a) Evolution du pH des milieux	64
b) Evolution du Mn soluble des milieux..	65
c) Courbes d'oxydo-réduction et des pH..	65
I24 - Conclusions	70

I25 - Milieu de culture enrichi en MnO_2 + $MnSO_4$..	71
a) Evolution du pH des milieux	71
b) Evolution du Mn soluble des milieux...	72
c) Courbes d'oxydo-réduction et des pH...	72
I26 - Conclusions	77
I3 - Conclusion générale.	78
I4 - Observations annexes à ce travail	79
CHAPITRE 2 - <u>Expérience d'incubation d'humus enrichi</u>	81
2I - Introduction	81
22 - Description de l'expérience et techniques des analyses	81
22I - Echantillonnage des humus et litières ...	81
222 - Préparation des incubations et déroulement de l'expérience.....	82
223 - Techniques des analyses	86
a) Analyses microbiologiques	86
b) Analyses chimiques	87
23 - Résultats des analyses chimiques	88
23I - Analyses préliminaires des humus et litières.....	88
a) Les humus	88
b) Les litières	89
232 - Calcul du Mn éch. et Mn f.r. pour 100 g des mélanges incubés au début de l'expérience	90
233 - Résultats des analyses chimiques après 19 semaines d'incubation	94
a) Incubations à 120 % d'humidité équivalente	94
b) Incubations sous hygropériodisme ...	95
c) Moyennes du Mn éch. et Mn f.r. des traitements en ne g gram.	96
234 - Expression des résultats en % du Mn actif des traitements au départ de l'expérience	97

235 - Phénomènes essentiels observés d'après les résultats.	98
24 - Interprétations des résultats	98
24I - Différence d'évolution du Mn additionné aux humus - Action de la microflore -	98
24II - Différenciation des humus	99
24I2 - Effet de l'hygroperiodisme	100
24I3 - Conclusions	102
242 - Différence d'évolution du Mn des litières additionnées aux humus - Influence du type de litière	105
242I - Différenciation des humus et litières	105
2422 - Effet de l'hygroperiodisme	108
2423 - Conclusion	109
2424 - Conséquences pratiques	110
243 - Hypothèse sur le Mn f.r.	112
243I - Hypothèse sur le mécanisme d'apparition du Mn f.r.	
2432 - Produit de la distribution du Mn f.r.	115
2433 - Evolution annuelle de la concentration des formes du Mn chez le mull de la sapinière.	116
25 - Résultats et interprétation rapides des analyses microbiologiques au cours de l'incubation - Evolution des composés humiques.	117
25I - Notes techniques sur les résultats	117
252 - Evolution de la microflore totale	119
253 - Evolution de la microflore fongique	121
254 - Evolution de la population d'actinomycète... ..	123
255 - Evolution de la microflore minéralisant et précipitant le Fer.	125
256 - Résultats des analyses des acides humiques.. ..	129
257 - Conclusion	133
TROISIEME PARTIE - Bilan du cycle annuel du manganèse : le phénomène d'alternance sapin-hêtre.....	134
INTRODUCTION	135
3I - Bilan du cycle annuel du Mn	135

3II - Retombées annuelles en litière de hêtre et de sapin.	135
3I2 - Retombées annuelles en Mn par hectare	136
3I3 - Quantités annuelles de Mn éch. et Mn f.r. ob- tenues à partir des litières de Hêtre et Sapin	137
3I4. - Conclusions sur le bilan	138
32 - PHENOMENES D'ALTERNANCE SAPIN-HETRE	139
32I - Détermination du Mn éch. et Mn f.r. dans des humus de hêtraie envahie par le sapin, de la sapinière envahie par le hêtre et de la sa - pinière pure.	139
322 - Essai d'un schéma explicatif de l'alternance de la sapinière à hêtre et la hêtraie.....	142
33 - INFLUENCE DE LA LITIERE DE HETRE	145
34 - MESURES PRATIQUES A EXPERIMENTER	146
CONCLUSIONS GENERALES - ET - CONCLUSION D'ENSEMBLE -	149
Bibliographie	152

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis longtemps les Forestiers ont observé une alternance entre la hêtraie et la sapinière à hêtre (mull) dans les Vosges. Les sapinières à mull après une certaine évolution sont envahies par le hêtre, la régénération du sapin pectiné ne se faisant pas. Inversement la vieille hêtraie favorisée par les forestiers dans le passé se voit envahie par le sapin.

Rousseau (1960) par des analyses de sols comparatives a démontré que les mull contenaient de forte concentration en Mn échangeable. Si celui-ci n'empêchait pas la germination des graines de sapin, il devenait toxique pour les semis par un phénomène physico-chimique :

- 1° Inhibition du développement des racines
- 2° Formation d'une gaine d'oxyde manganique autour des racines des semis par l'alternance de sécheresse et d'humidité.

Quelle est l'origine de l'accumulation du Mn échangeable dans les mull ? Nous nous sommes donné comme but de vérifier deux hypothèses :

- 1° Par sa physiologie, le sapin concentre le Mn dans ses aiguilles à partir de la roche-mère et le retourne à l'humus qui l'accumule. D'où étude de la nutrition du sapin suivant les types d'humus et de roche-mères.
- 2° Si le sapin concentre le Mn dans sa litière, pourquoi n'y a-t-il pas accumulation dans les moder et mor contrairement aux mull ? D'où étude de l'évolution du Mn des litières

(sapin et hêtre) suivant le type d'humus.

Dans la première partie de ce travail nous traiterons de la nutrition générale du sapin pectiné et de ses rapports avec la nutrition en Mn.

La deuxième partie consacrée à l'étude de l'évolution du Mn suivant le type d'humus consistera en des expériences en laboratoires :

1° Etude de l'action oxydo-réductrice de la microflore de mull et moder sur le Mn en Culture pure.

2° Expérience d'incubation d'un mull et moder de sapinière enrichi .

Un bilan du cycle annuel du Mn et un essai d'explication de l'alternance sapinière à hêtre - hêtraie seront traités dans la troisième partie.

P R E M I E R E P A R T I E

ETUDE DE LA NUTRITION DU SAPIN PECTINE (ABIES PECTINA D.C.)
D'APRES 5 STATIONS VOSGIENNES
LA NUTRITION EN MANGANESE DANS SES RAPPORTS AVEC LA
NUTRITION EN GENERAL

I N T R O D U C T I O N

Cette étude porte sur cinq stations vosgiennes dont deux à mull, deux à moder et une à mor.

Deux roche-mères sont en cause, ce sont les granites vosgiens et les grès (intermédiaire et vosgien).

Dix échantillons d'aiguilles par station pris sur des sapins dominants ou codominants ont été analysés afin de déterminer les teneurs en : N, C, P2 O5, Mg, Ca, K, Mn et Fe.

Le diamètre à I m 30, la hauteur et l'âge de chaque arbre échantillonné ont été mesurés.

Différents modes d'analyses statistiques ont été utilisés pour différencier les stations et caractériser les humus et roche-mères.

CHAPITRE I

=====

- DESCRIPTION DES STATIONS ET ANALYSES DES SOLS -II - Description Sommaire des Stations :III - Station I -

Situation : Forêt du Ban d'Etival - Série Rein des Boules - Parcelle
n° 3

Sol : Brun acide

Humus : Mull

R.M. : Grès intermédiaire

Végétation : Colonies de fétuque (*Festuca Sylvatica*), *Oxalis acetosella*,
Polystichum spinulosum, *Rubus Glandulosus*.

Echantillons : Aiguilles de Sapin Pectiné. N° de laboratoire : 643, de
I à IO recueillis sur des arbres adultes dominants ou codominants.

Caractères des arbres échantillonnés :

Age moyen : 115 ans

Diamètre à 1,30 m : 35,3 cm (moyenne)

Hauteur moyenne : 25,55 m

II2 - Station 2 :

Situation : Forêt du Ban d'Etival - Série : Corne de Lisse - Parcelle
N° 4 -

Sol : Sol ocre podzolique

Humus : Mor avec tache de mull (où il y a présence de feuilles de Hêtres)

R.M. : Grès vosgien avec colluvium de conglomérat

Végétation : *Leucobryum glaucum* - Myrtille - Callune -

Echantillons : Aiguilles de sapin pectiné. N° de laboratoire : 644 de

I à IO : arbres adultes dominants ou codominants.

N° de laboratoire : 649, semis de I,2 et 3 ans.

Caractères des arbres échantillonnés :

Age moyen : 127 ans
 Diamètre à I m 30 : 28,4 cm (moyenne)
 Hauteur moyenne : 22,70 cm

II3 - Station 3 :

Situation : Forêt du Ben d'Etival - Série Corne de Lisse - Parcelle

N° 5 -

Sol : Sol ocre podzolique

Humus : Moder

R.M. : Grès vosgien avec colluvion de conglomérat

Végétation : tapis de mousses hypnum Loreum - Colonies de myrtilles -

Un peu de callune -

Echantillons : Aiguilles de sapin pectiné. N° de laboratoire : 645 de

I à IO arbres dominants et codominants. N° de laboratoire : 652 semis

de I,2 à 3 ans.

Caractères des arbres échantillonnés :

Age moyen : 115 ans
 Diamètre à I m 30 : 28,7 cm (moyenne)
 Hauteur moyenne : 22,75 cm

II4 - Station 4 :

Situation : Forêt des Hospices de Nancy : lieu-dit : le Rudlin - Parcel-

le n° 5 -

Sol : sol brun acide

Humus : Mull

R.M. : granite

Végétation : Tapis continu de Festuca Sylvatica - Rubus glandulosus - Polystichum spinulosum --

Echantillons : Aiguilles de sapin pectiné - N° de laboratoire : 6I2 de I à IO arbres adultes dominants ou codominants - N° de laboratoire : 6I6 semis de I à 3 ans - N° de laboratoire : 6I7 : semis de 5 ans - N° de laboratoire : 6I9 : sapineau de 5 ans - N° 620 - I : Sapineau de 0,75 m N° 620 - 2 : Sapineau de I,25 m - N° 620 - 3 : Sapineau de I,25 m

Caractères des arbres échantillonnés :

Age moyen : 88 ans
Diamètre à I,30 m : 35,2 cm (moyenne)
Hauteur moyenne : 25,33 cm

II5 - Station 5 :

Situation : Forêt des Hospices de Nancy - Lieu dit : Le Rudlin - Parcelle n° IO --

Sol : Sol ocre podzolique

Humus : Moder

R.M. : Granite

Végétation : Tapis d'hypnum Loreum - Colonies de myrtilles - Touffes de Leucobryum glaucum

Echantillons : Aiguilles de sapin pectiné - N° de laboratoire : 6I3 de I à IO arbres adultes dominants ou codominants - N° 62I : de semis de I,3 et 4 ans - N° 623 : de semis de 5,6 et 7 ans et plus -

Caractères des arbres échantillonnés :

Age moyen : 94 ans
Diamètre à I m 30 : 30,9 cm (moyenne)
Hauteur moyenne : 20,60 m

I2 - Analyses des sols des stations -

Faute d'analyses provenant des sols des Stations, nous nous sommes permis d'utiliser des analyses de profils, provenant de la même parcelle ou de parcelles identiques ayant la même roche-mère et le même profil que ceux des Stations étudiées, faites par Rousseau en 1960 (Voir tableau I -1)

Notes explicatives :

- Station 1 - L'analyse correspond exactement à celle faite par Rousseau (1960).

- Stations 2 et 3 -

Les sols de ces Stations sont à peu près identiques. L'humus de la Station 2 est un mor et le processus de podzolisation est plus accentué que chez le profil de la Station 3. D'ailleurs M. DUCHAUFOR (1958) classe les sols de ces stations dans la même catégorie : Les sols ocre podzoliques.

Ce profil provient de la Sapinière de la Voivre, parcelle 33, le sol de cette parcelle correspond approximativement au sol de notre Station 3. La forêt, l'humus et la roche-mère y sont identiques.

L'analyse donnée ici est une moyenne entre deux profils analysés par ROUSSEAU (1960). A₀ et A₁ du profil 2 de ROUSSEAU sont combinés proportionnellement à leur épaisseur respective.

- Station 4 -

C'est le profil qui correspond exactement à la Station 4. L'analyse présentée ici est une moyenne entre deux profils analysés par ROUSSEAU (1960).

TABLEAU I-1 MATIERE ORGANIQUE et COMPLEXE ABSORBANT DES PROFILS DE SOL DES STATIONS (1)

Analyse de terre fine sèche à l'air

Horizon	Matière organique			P ^H	Complexe						Absorbant				Fer libre %
	M.C. %	C %	N %		C/N	Ca me	K me	Mg me	Na me	S me	T me	S/T	Mn me	C 2% 5	
1	A ₁	7,4	4,31	0,27	16,0	1,48	6,35	0,46	0,01	2,30	13,52	17,0	0,57	traces	0,53
	A ₁	2,2	1,25	0,11	11,4	0,23	0,10	0,25	0,03	0,61	7,91	7,7	0,04	traces	0,59
	B	0,7	0,39	0,05	7,8	0,11	0,09	0,25	0,03	0,48	8,54	5,6	0,01	0,03	1,02
2	AoA ₁	45,9	23,50	0,95	24,7	1,81	0,91	0,44	0,18	3,34	50,5	5,6	0,15	0,003	0,22
	A ₂	2,5	1,50	0,07	21,4	0,33	0,06	0,03	0,04	0,46	6,06	7,6	trace	traces	0,27
	A ₃	3,1	1,78	0,08	22,2	0,13	0,07	0,00	trace	0,20	7,95	2,5	0,01	traces	0,41
	B	3,4	1,98	0,88	24,8	0,27	0,10	0,05	0,07	0,49	11,89	4,1	0,02	traces	1,14
	C	1,0	0,50	0,06	10,0	0,26	0,09	0,05	0,06	0,46	8,78	5,3	0,02	0,01	0,97
3	A ₁	10,4	6,21	0,67	9,3	3,55	0,53	0,91	0,15	4,94	25,28	19,9	0,50	0,07	1,36
	A ₁	5,7	3,29	0,25	13,6	1,37	0,29	0,30	0,07	2,03	20,71	9,8	0,08	0,12	1,58
	B	3,5	2,03	0,12	15,3	0,51	0,06	0,14	0,05	0,76	15,02	5,6	0,01	0,17	1,86
	C	2,3	1,31	0,08	16,6	0,40	0,04	0,14	0,08	0,55	12,43	5,3	0,01	0,17	1,57
4	A ₁	20,3	11,83	0,45	25,7	0,77	0,46	0,40	0,11	1,74	30,38	5,7	0,02	traces	1,04
	A ₁	26,9	15,62	0,65	24,0	0,43	0,50	0,53	0,12	1,58	38,85	4,3	0,01	0,01	0,87
	B	9,9	5,73	0,21	27,3	0,18	0,13	0,33	0,04	0,58	20,66	3,3	trace	traces	1,49
	B ₁	5,5	3,77	0,18	20,9	0,27	0,05	traces	0,05	0,37	24,19	1,5	trace	0,03	1,37
	C	1,9	1,09	0,06	18,2	0,24	0,04	0,09	0,03	0,40	10,42	3,8	trace	traces	0,50

(1) - Données tirées de la thèse de ROUSSEAU (1960).

Légende: st.: station

me: milliéquivalent pour 100 gr de sol tamisé à 2 mm.

-- Station 5 --

Ces profils proviennent de la parcelle 6 de la forêt des Hospices de Nancy, décrite et analysée par ROUSSEAU (1960). Cette parcelle est voisine de la parcelle 5 où est située la Station 5. C'est une sapinière à mousses identique à la sapinière de la Parcelle 5. Nous avons choisi le profil 2 de ROUSSEAU car il représente mieux les conditions générales de la station par sa situation en pente.

CHAPITRE 2

=====

- TECHNIQUES, RESULTATS ET INTERPRETATION DES ANALYSES FOLIAIRES -

2I - Techniques des Analyses Foliaires -

2II - Prélèvement des échantillons Foliaires -

Les échantillons d'aiguilles de sapin pectiné ont été prélevés à la fin du mois de novembre 1963. Le prélèvement consistait en la croissance de l'été 1963 prise sur les branches du tiers supérieur de la cime.

Les arbres échantillonnés étaient tous dominants ou codominants et choisis suivant une dispersion représentative de la station.

2I2 - Séchage des échantillons -

Les échantillons des stations 6I2 et 6I3 ont été séchés à 105° C tandis que ceux des stations 643, 644, et 645 l'ont été à 65° C. Ce changement dans la température de séchage provient du fait que les aiguilles séchées à 105° brunissaient légèrement, d'où la crainte de perte en azote.

A cause des différentes températures de séchage, nous avons établi l'humidité moyenne des tissus broyés avant minéralisation par un séchage à 105° C. Les taux d'humidité de 4,9 % et 3,4 % pour les échantillons séchés préalablement à 65°C et 105°C respectivement ont été utilisés pour corriger les poids de tissus minéralisés.

2I3 - Minéralisation des tissus et Dosages -

A - Minéralisation : Des poids de 500 mg de tissus ont été minéralisés à l'aide de 10 ml d'acide sulfurique et 3 répétitions de 5 ml d'eau oxygénée à 110 volume R.P. La minéralisation terminée, nous amenons la solution A à 200 ml.

B - Dosage : l'Azote a été déterminé par distillation au micro - Kjeldahl Parnas Wagner

Le Carbone a été déterminé sur une prise de 150 mgr de Tissu suivant la méthode d'Anne modifiée, c'est à dire à l'aide du bichromate de Potassium (3,2 gr) et d'acide sulfurique (30 ml).

Le Potassium : Détermination au photomètre à flamme sur 25 ml de la solution A neutralisée préalablement avec une solution d'ammoniaque en présence de goutte de bleu de Bromo-Thymol.

Le Calcium : La détermination au photomètre à flamme se fait sur 10 ml de la solution préparée pour le potassium, auxquels nous ajoutons 1 ml d'une solution de KH_2PO_4 à 1,7 gr au litre ; afin d'uniformiser l'interférence du potassium et phosphore.

Le Phosphore : Détermination par colorimétrie sur 10 ml de la solution A neutralisée à l'aide de la soude et amenée à 100 ml. A 50 ml de la solution neutralisée nous ajoutons 2 ml de solution molybdique et 3 gouttes de Chlorure stanneux le tout étant colorimétré à 660 mu.

Le magnésium : Par colorimétrie à 550 mu, à l'aide de chlorhydrate d'hydroxylamine à 4 % (1 cm) du jaune de Titane (10 gouttes) et de la soude à 40 % (2 ml) ajouté à 10 ml de la solution préparée pour le dosage du phosphore.

Le manganèse : Dosage par colorimétrie suivant la méthode de WILHE et VOIGT modifiée Cinquante centimètres cubes de la solution A sont évaporés jusqu'à l'acide sulfurique, à l'aide de l'acide orthophosphorique et périodate de Potassium ; le manganèse est transformé en permanganate de Potassium (coloration pourpre) Colorimétrie à 5640 Å°

Le Fer : Dosé par colorimétrie à l'aide de l'eau régale, de l'eau oxygénée et du sulfocyanure d'ammonium.

22 - Résultats et interprétations des analyses foliaires -

22I - Tableau des résultats avec moyenne pour chaque station -
erreur sur la moyenne -

22II - STATION I -

TABIEAU I - 2 Taux foliaires des éléments pour 10 Sapins adultes de la station I

N° des échantillons	N	P	O	Mg	K	Ca	Mn	Fe	C
	%	%	%	%	%	%	%	P.P.M.	%
643-1	:1,28	:0,322	:0,038	:0,757	:1,118	:0,376	:81	:45,05	
643-2	:1,30	:0,477	:0,053	:0,552	:1,025	:0,378	:99	:51,20	
643-3	:1,30	:0,299	:0,036	:0,447	:0,620	:0,319	:179	:48,43	
643-4	:1,35	:0,300	:0,048	:0,627	:0,644	:0,237	:32	:47,51	
643-5	:1,27	:0,338	:0,021	:0,670	:0,478	:0,235	:37	:46,28	
643-6	:1,10	:0,286	:0,066	:0,559	:0,673	:0,389	:27	:51,81	
643-7	:1,23	:0,321	:0,073	:0,699	:0,693	:0,359	:85	:48,74	
643-8	:1,03	:0,320	:0,034	:0,644	:0,466	:0,153	:26	:49,05	
643-9	:1,26	:0,315	:0,047	:0,625	:0,479	:0,186	:96	:46,89	
643-10	:1,29	:0,321	:0,073	:0,631	:0,554	:0,196	:37	:47,51	
MOYENNE	:1,24	:0,330	:0,051	:0,621	:0,675	:0,223	:70	:43,25	
σ	:0,1	:0,054	:0,017	:0,086	:0,225	:0,09	:48,5	:2,09	
σM	:0,032	:0,017	:0,005	:0,027	:0,071	:0,023	:15,3	:0,661	
t	:3,6 ^{xx}	:1,94 ^x	:1,00	:2,29 ^{xx}	:0,14	:1,00	:0,47	:7,30 ^{xx}	

Légende : ppm : Parties par million, σ = l'écart type

σM : L'erreur standard de la moyenne

t : Test de " student " égal au quotient de l'erreur permise de la moyenne (10 %) sur l'erreur standard pour un degré de liberté de 10. Il permet de vérifier si la moyenne est significative ou non sur le seuil de probabilité désiré. Les valeurs de t s'ont pour une probabilité de 90%, 95% et 99% respectivement :

1,81 : moyenne douteuse (x) - 2,23 : moyenne significative (xx) -
3,17 : moyenne très significative (xxx)

22II - STATION I -TABIEAU I - 3 Taux foliaires des éléments pour les semis de sapin de la
station I -

N° des échantillons	N %	P2O5 %	Mg %	K %	Ca %	Mn %	Fe P.P.M.
646 - I an	2,316	0,666	0,169	1,027	0,364	0,214	331
647 - 3 ans	1,576	0,286	0,069	0,722	0,524	0,259	468
648 - 5 ans	1,341	0,245	0,079	0,639	0,576	0,286	225

Commentaires :

- 1° - Ce qui frappe dès le début, c'est la forte teneur en manganèse dans les aiguilles, autant chez les arbres adultes que chez les semis. N'oublions pas que cette station possède un humus mull riche en manganèse qui est soupçonné être toxique pour les semis.
- 2° - Les semis d'un an (échantillon 646) se révèlent très riches (près de 2 fois plus que les adultes) en N, P2 O5, Mg, K et en fer.
- 3° - Par contre chez les semis de 3 et 5 ans (échantillon 647 et 648 respectivement) seuls le manganèse et le fer sont en forte teneur tandis que les autres éléments sont normaux relativement aux arbres adultes.
- 4° - L'azote, le carbone et le K possèdent des moyennes significatives. Le P2 O5 est à la limite de signification pour une probabilité de 95 %.

TABLEAU I - 4 Taux foliaires des éléments pour 10 Sapins adultes et de semis de la station 2 -

N° des échantillons	N %	P2 O5 %	Mg %	K %	Ca %	Mn %	Fe P.P.M.	C %
644 - I	I,02:0,240	:0,132	:0,503	:0,590	:0,034	46	: 54,74	
644 - 2	I,24:0,372	:0,156	:0,608	:0,440	:0,015	8	: 55,97	
644 - 3	: 0,99:0,342	:0,086	:0,835	:0,543	:0,029	0	: 55,97	
644 - 4	I,03:0,282	:0,128	:0,574	:0,527	:0,014	25	: 54,12	
644 - 5	I,17:0,321	:0,255	:0,834	:0,797	:0,042	66	: 52,58	
644 - 6	I,25:0,445	:0,075	:0,793	:0,580	:0,031	35	: 52,89	
644 - 7	I,08:0,283	:0,100	:0,806	:0,679	:0,031	13	: 54,74	
644 - 8	I,08:0,392	:0,072	:0,765	:0,430	:0,025	22	: 54,12	
644 - 9	I,18:0,355	:0,060	:0,739	:0,475	:0,026	211	: 53,51	
644 - 10	I,14:0,305	:0,139	:0,788	:0,638	:0,044	116	: 53,20	
MOYENNE	I,12:0,334	:0,120	:0,725	:0,570	:0,029	54	: 54,18	
$\bar{x}$	:0,089:0,061	:0,057	:0,119	:0,114	: 0,010	64,8	: 1,19	
CM	:0,028:0,019	:0,018	:0,038	:0,036	: 0,003	20,4	: 0,375	
t	:4,00 ^{xx} :1,76	:0,66	:1,93 ^x	:1,60	: 1,00	0,26	:14,45 ^{xxx}	
semis 649	:I,271:0,476	:0,242	:0,784	:0,291	: 0,029	332	:	

Commentaires :

- 1° - Remarquons les teneurs en Mn beaucoup plus faibles que celles de la station I à null -
- 2° - Les échantillons 649 comprennent des aiguilles de semis de 1,2 et 3 ans -
- 3° - Remarquons, comme dans la station I, la forte teneur en N, P2O5, Mg et fer dans les aiguilles de semis par rapport aux adultes.
- 4° - Par contre, la teneur en calcium est plus faible
- 5° - L'azote, le carbone possèdent des moyennes significatives.

2213 - STATION 3 -

TABLEAU I - 5 Taux foliaires des éléments pour 10 Sapins adultes et des semis de la station 3 -

N° des échantillons	N %	P2 O5 %	Mg %	K %	Ca %	Mn %	Fe P.P.M.	C %
645 - 1	1,05	0,259	0,100	0,623	0,601	0,050	45	56,58
645 - 2	1,30	0,307	0,098	0,728	0,618	0,054	30	54,74
645 - 3	1,21	0,313	0,279	0,665	0,993	0,063	73	51,66
645 - 4	0,95	0,259	0,074	0,701	0,552	0,029	30	54,43
645 - 5	1,23	0,303	0,086	0,905	0,609	0,047	99	53,20
645 - 6	1,20	0,410	0,062	0,905	0,601	0,051	26	50,43
645 - 7	1,05	0,270	0,069	0,888	0,550	0,044	190	55,97
645 - 8	1,26	0,299	0,073	0,843	0,631	0,072	30	54,43
645 - 9	1,26	0,292	0,085	0,809	0,608	0,075	55	54,12
645 - 10	1,04	0,277	0,042	0,732	0,586	0,046	94	52,89
MOYENNE	1,16	0,299	0,097	0,780	0,635	0,053	67	53,85
σ	0,12	0,044	0,068	0,102	0,128	0,011	50,9	1,87
σ M	0,038	0,014	0,022	0,032	0,041	0,003	16,1	0,592
t	3,15	2,10x	0,45	2,42xx	1,56	2,00x	0,42	9,09 ^{xxx}
Semis Ech. 652	1,383	0,482	0,155	0,659	0,316	0,057	258	

Commentaires :

- 1° Remarquons les teneurs en Mn beaucoup plus faibles que celles de la Station I -
- 2° L'échantillon 652 est un mélange d'aiguilles de semis de 1,2 et 3 ans -
- 3° Notons la forte teneur en N, P2O5, Mg et fer des aiguilles de l'échantillon 652, relativement aux adultes.
- 4° La teneur en potassium et manganèse est comparable à celle des adultes mais la teneur en calcium est plus faible.
- 5° Les moyennes de l'azote, du carbone et K sont significatives. Celles du P2O5 et du Mn sont à la limite de signification.

2214 - STATION 4 -

TABLEAU I - 6 Taux foliaires des éléments pour 10 Sapins adultes et des semis de la station 4 -

N° des échantillons	N %	P2O5 %	Mg %	K %	Ca %	Mn %	Fe P.P.M.	C %
6I2 - 1	1,36	0,406	0,139	0,490	0,463	0,106	122	52,18
6I2 - 2	1,55	0,438	0,177	0,598	0,679	0,123	160	52,74
6I2 - 3	1,59	0,472	0,104	0,553	0,442	0,145	57	51,81
6I2 - 4	1,47	0,517	0,110	0,579	0,294	0,079	62	53,04
6I2 - 5	1,36	0,456	0,150	0,524	0,423	0,097	48	53,97
6I2 - 6	1,58	0,330	0,205	0,580	0,406	0,096	29	52,12
6I2 - 7	1,39	0,443	0,156	0,724	0,300	0,070	39	52,12
6I2 - 8	1,46	0,429	0,193	0,648	0,547	0,125	24	54,28
6I2 - 9	1,27	0,364	0,091	0,571	0,344	0,070	86	55,26
6I2 - 10	1,47	0,468	0,177	0,632	0,434	0,094	39	53,97
MOYENNE	1,45	0,432	0,150	0,590	0,433	0,101	67	55,18
$\bar{G}$	0,105	0,054	0,39	0,066	0,116	0,025	43,9	2,42
t	4,54 ^{xxx}	2,53 ^{xx}	1,25	2,80 ^{xx}	1,17	1,43	0,49	7,19 ^{xxx}
$\bar{\sigma}_M$	0,033	0,017	0,012	0,021	0,037	0,008	13,9	0,767

SEMIS ET AUTRES

6I6	2,941	0,893	0,912	0,936	0,348	0,169	160	
6I7	1,789	0,503	0,436	0,657	0,554	0,183	88	
6I9	1,256	0,433	0,632	0,938	0,462	0,104	143	
620 - 1	1,402	0,342	0,724	0,816	0,472	0,178	377	
620 - 2	1,580	0,400	0,712	0,727	0,451	0,157	153	
620 - 3	1,333	0,423	0,660	0,486	0,410	0,092	90	

Commentaires :

1) Echantillon 6I6 : aiguilles de semis de I et 3 ans

6I7 : aiguilles de semis de 5 ans

6I9 : aiguilles de semis de 15 ans

620 - I: aiguilles de sapineaux, hauteur 0,75 m

620 - 2: aiguilles de sapineaux, hauteur 1,25 m

620 - 3: aiguilles de sapineaux, hauteur 1,50 m

2) Les moyennes de l'azote, P205, K et carbone sont significatives.

3) Comme pour la station I, la Station IV qui possède aussi un humus mull riche en manganèse, dénote une forte teneur en manganèse dans les aiguilles.

4) Pour tous les éléments, les teneurs diminuent lorsque l'on passe de l'échantillon 6I6 (semis de I et 3 ans) à l'échantillon 620-3 dont les teneurs s'approchent de celles des adultes, à l'exception du calcium dont les teneurs ont tendance à augmenter et le fer qui est variable mais montre des valeurs assez élevées.

2215 - STATION 5 -

TABLEAU I - 7 Taux foliaires des éléments pour 10 sapins adultes et de semis de la station 5 -

N° des des échantillons	N %	P2 O5 %	Mg %	K %	Ca %	Mn %	Fe P.P.M.	C %
613 - 1	1,39	0,330	0,218	0,725	0,261	0,014	97	53,78
613 - 2	1,21	0,336	0,234	0,687	0,361	0,018	28	52,12
613 - 3	1,01	0,265	0,133	0,506	0,483	0,010	55	55,32
613 - 4	1,18	0,327	0,200	0,696	0,447	0,017	59	52,43
613 - 5	1,25	0,270	0,136	0,659	0,369	0,013	45	55,20
613 - 6	1,38	0,420	0,219	0,669	0,405	0,026	36	52,24
613 - 7	1,32	0,306	0,147	0,621	0,404	0,021	77	51,81
613 - 8	1,40	0,355	0,108	0,616	0,371	0,020	39	52,12
613 - 9	1,39	0,351	0,110	0,840	0,285	0,010	39	53,35
613 - 10	1,31	0,274	0,118	0,778	0,404	0,018	46	53,97
MOYENNE	1,28	0,323	0,162	0,680	0,379	0,017	52	53,23
S	0,122	0,048	0,052	0,093	0,071	0,004	20,9	1,30
CM	0,039	0,015	0,016	0,029	0,022	0,001	6,61	0,411
t	3,33	2,12	1,00	2,31	1,61	1,21	0,80	12,94
semis			semis					
621	1,683	0,523	0,137	0,695	0,284	0,027	127	
623	1,243	0,229	0,123	0,654	0,341	0,032	550	

Commentaires :

- 1° - Remarque : les teneurs en Mn sont beaucoup plus faibles que celles des stations 1 et 4
- 2° - Echantillon 621 : Mélange d'aiguilles de semis de 1,3 et 4 ans
623 : Mélange d'aiguilles de plants de 5,6 et 7 ans
- 3° - Notons que l'échantillon 621 a une forte teneur en azote, P2 O5

222 - Résumé des teneurs foliaires moyennes de chaque station - InterprétationA - RESULTATS -TABEAU I - 8 - Les moyennes pour chaque station

Station Eléments	I	2	3	4	5
% N	1,241	1,118	1,155	1,450	1,281
% P2 O5	0,330	0,334	0,299	0,432	0,323
% Mg	0,0509	0,1203	0,0968	0,1502	0,1623
% K	0,6211	0,7245	0,7102	0,5899	0,6797
% Ca	0,6750	0,5699	0,6349	0,4332	0,3790
% Mn	0,2828	0,0291	0,0531	0,1005	0,0167
p.p.m. Fe	69,9	54,2	67,2	66,6	52,2
% C	43,25	54,18	53,85	55,18	53,23

B - CONCLUSIONS -

- 1° - Ne tenant pas compte de la variation des moyennes entre les stations, seules les moyennes de l'azote, potassium et carbone sont significatives pour 10 échantillons sauf le K dans le cas de la station 2.
- 2° - Dans les stations à mull les teneurs en Mn des aiguilles sont de 2 à 20 fois plus élevées que celles des stations à moder et mor.
- 3° - Les teneurs foliaires en K sont plus faibles dans les stations à mull que dans les stations à moder et mor.
- 4° - Les teneurs foliaires en N, P2 O5, Mg sont plus fortes sur les stations à roche-mère granitique que celles sur roche-mère gréseuse respectivement pour chaque type d'humus. L'inverse s'observe pour les teneurs en calcium.

5° - D'après 2°, 3° et 4° il semble que les teneurs foliaires en Mn et K caractérisent les humus en premier lieu mais dépendent de la roche-mère, les taux pour un même type d'humus étant plus forts pour les stations sur grès que pour les stations sur granite.

Tandis que les teneurs N, P2 O5, Mg et Ca caractérisent les roche-mères mais restent dépendantes du type d'humus en second lieu. Pour une même roche-mère les teneurs foliaires en N, P2 O5 et Ca sont plus fortes que dans les stations à mull que celles à moder ou mor et inversement pour les teneurs foliaires en Mg.

Nous verrons que ces observations sont confirmées par les analyses statistiques qui suivront.

223 - Résumé des résultats d'analyses foliaires des semis - Interprétations -

A - RESULTATS -

TABEAU I - 9 Les résultats d'analyses foliaires des semis -

Station	R.M.	Humus	SEMIS ages années	N %	P2 O5 %	K %	Mg %	Ca %	Mn %	Fe PPM
1	Grès int.	Mull	I	2,316	0,666	1,027	0,169	0,364	0,214	331
			3-5	1,576	0,286	0,722	0,069	0,524	0,259	468
			3-5	1,341	0,245	0,639	0,079	0,576	0,286	225
2	Grès vos.	Mor	I-2-3	1,271	0,476	0,784	0,242	0,291	0,029	332
3	Grès vos.	Moder	I-2-3	1,553	0,482	0,859	0,155	0,316	0,057	258
4	Granite	Mull	I-3	2,491	0,893	0,938	0,912	0,348	0,169	160
			5	1,789	0,508	0,657	0,436	0,554	0,183	88
			15	1,256	0,433	0,938	0,632	0,462	0,104	143
5	Granite	Moder	I-3-4	1,683	0,523	0,695	0,137	0,284	0,027	550
			5-6-7	1,293	0,229	0,654	0,123	0,341	0,032	

B - CONCLUSIONS -

1° - Pour tous les éléments sauf le calcium, les teneurs foliaires sont plus fortes chez les semis que chez les adultes. Donc le semis serait plus exigeant que l'arbre adulte pour le sapin. Ceci peut s'expliquer par le fait d'une luminosité moindre en sous-bois et aussi dans le cas des semis d'une année, leur

nutrition dépend presque entièrement des réserves de la graine.

- 2° - Plus les semis vieillissent, plus leur nutrition se rapproche de celle des adultes (voir station 4) -
- 3° - La teneur en Mn des semis, est à peu près identique à celle des adultes mais plus forte chez les stations à mull I et 4.
- 4° - Signalons la forte teneur en Mg des semis de I et 3 ans de la Station 4 et des semis de I an de la Station I. Si nous comparons les rapports Ca/Mg des semis : on trouve 6 fois plus de Mg chez les semis de I à 3 ans que chez les adultes pour la Station 4 et 3 fois plus pour la station I.

TABLEAU I - IO - Les Rapports Ca/Mg des semis -

Stations	Semis - Age	Ca / Mg
I	I	2,15
	3 - 5	7,59
	3 - 5	7,29
2	I - 2 - 3	1,20
3	I - 2 - 3	2,04
4	I - 3	0,38
	5	1,27
	15	0,73
5	I - 3 - 4	2,07
	5 - 6 - 7	2,77

Les rapports Ca / Mg des semis de la Station 4 sont relativement bas. Seuls ceux de la Station 2 s'en rapprochent. Les rapports Ca/Mg des sapins adultes varient de 1,19 à 29,34. Si nous acceptons ces limites, il semble que les Ca/mg des semis I - 3 et 15 de la Station 4 sont anormaux. Ce qui représente soit une déficience en Ca ou une trop forte teneur en Mg dans les sols ou encore une réaction physiologique à un trouble qui pourrait être la toxicité du Mn.

224 - Comparaison des sols des stations -A - RESULTATS -

Les horizons A et B étant les principaux milieux nutritifs nous avons jugé important de les comparer.

TABLEAU I - II Tableau comparatif des sols -

Stations	Horizons A (AO, A'I, A''I)					Horizon B ou B'				
	S me	T me	S/T %	M.O. %	C/N	S me	T me	S/T %	M.O. %	C/N
4	2,90	22,08	13,13	7,1	12,31	0,76	15,02	5,6	3,5	15,3
I	0,81	8,38	9,44	2,8	12,0	0,48	8,54	5,6	0,7	7,8
5	1,71	34,25	4,99	23,3	24,9	0,68	20,66	3,3	9,9	27,3
2 - 3	3,34	60,50	5,62	45,9	24,7	0,49	11,89	4,1	3,4	24,8

Les valeurs du tableau ci-dessus ont été calculées proportionnellement à l'épaisseur des horizons. (AO, AI', AI'')

S : somme des bases échangeables
 S/T : Taux saturations
 T : Capacité totale d'échange (Ph = 7)

B - CONCLUSIONS -

- 1° - D'après le taux de saturation (S/T) des horizons A, la station 4 se classe en premier lieu, suivie de la station I et des Stations 3 - 2 et 5, ces dernières ayant peu de différence.
- 2° - Les rapports C/N des horizons A sont à peu près les mêmes pour les stations à mull (4 - I) et les stations à mor et moder (2 - 3 - 5). Cependant si nous tenons compte du pourcentage de matière organique (% M.O.) celui du mull de la station 4 étant deux fois et demi

plus fort que celui de la Station I, il est permis de croire qu'il y a 2,5 fois plus d'azote disponible pour la Station 4. La même observation peut être faite pour les stations (2 - 3) et 5.

- 3° - Les valeurs du taux de saturation (S/T) des horizons B sont approximativement les mêmes pour les stations à mull 4 et I (identiques) et aussi les Stations à mor et moder 2,3 et 5.
- 4° - Le C/N de la station 4 est 2 fois plus grand que celui de la station I en B ce qui implique 2 fois moins d'azote disponible pour la station 4. Par contre, la station 4 possède 5 fois plus de M.O. que la station I dans l'horizon B. Si la disponibilité de l'azote est directement proportionnelle au % M.O. ; il en résulte une disponibilité plus grande en N pour la Station 4.
- 5° - L'horizon B de la station 5 par la même loi énoncée auparavant (2,5 fois plus de M.O. que le B des Stations 2 et 3) libère une plus grande quantité d'azote que l'horizon de la Station 2 et 3.
- 6° - La classification des stations d'après la fertilité des sols serait : la station 4 en premier rang suivie des stations I, 5 et (2,3). Le granite serait la roche-mère la plus riche.

Si nous cherchons ce classement d'après les teneurs foliaires moyennes des stations nous constatons que seuls N et P2 O5 le respectent approximativement.

225 - Relations entre les teneurs foliaires et les données dendrométriques -

A - RESULTATS -

Ne possédant pas de chiffres de production exacte pour chacune des stations, à l'exception du Ban d'Etival, nous nous sommes permis, à l'aide des données dendrométriques des arbres échantillonnés de calculer la hauteur moyenne, l'âge moyen et le rapport hauteur moyenne / âge moyen ayant ainsi l'accroissement annuel en hauteur. Cependant ce rapport n'est qu'une estimation approximative de l'indice du site ou fertilité.

Ces arbres n'étant pas surannés (l'âge varie de 70 à 140 ans), le rapport hauteur moyenne / âge moyen est valable pour chaque station car la hauteur maximum n'est pas atteinte, ni l'âge limite.

PARDE (1958) établit la hauteur totale des plus gros arbres sur des stations de même type au Ban d'Etival, comme suit :

station à Mull : 37 à 47 m
 station à Moder : 32 à 38 m
 station à Mor : 28 à 33 m

TABLEAU I - I2 Moyennes des mesures dendrométriques -

Stations	Ht Moyenne (m)	Age moyen (années)	A.A.M. en Ht (m/année)
4	25,33	88	0,29
I	25,55	115	0,22
5	20,60	94	0,22
3	22,75	115	0,20
2	22,70	127	0,18

A.A.M. en Ht : Accroissement annuel moyen en hauteur.

B - CONCLUSIONS -

Donc la station 4 à mull sur granite montre l'accroissement annuel moyen en hauteur le plus élevé ; suivent la station 5 et la station I ; puis les stations 3 et 2. Ce classement correspond exactement à celui établi pour les teneurs en N et P205 : la station 4 possède les plus fortes teneurs en N et P205 suivie des stations I et 5 qui sont approximativement semblables et des stations 2 et 3. La relation existe aussi avec le rapport C/N des teneurs foliaires.

CHAPITRE 3

=====

- ANALYSES STATISTIQUES -

3I - Les éléments et les groupes d'éléments différenciant le mieux les stations d'après les teneurs foliaires moyennes des stations -

3II - Analyse de variance des teneurs moyennes des stations -

A - RESULTATS -

Dans une première phase nous ferons une comparaison des teneurs moyennes des stations pour un même élément afin de vérifier si celui-ci peut différencier les stations. C'est l'application de l'analyse de variance hiérarchique simple telle que définie par SNEDECOR (1956).

Dans notre cas la variance intra-station a un degré de liberté de $N - K = 45$ et la variance inter-station a un degré de liberté de $K - I = 4$. A partir d'eux nous pouvons calculer une valeur de F pour chaque élément. Aux seuils de probabilité de 95 % et 99 % les valeurs de F doivent être respectivement supérieures à 2,58 (+) et 3,77 (++) pour que l'élément considéré différencie les stations.

TABEAU I - I3 Valeurs de F pour chacun des éléments -

Eléments	F	Signification
N	14,35	++
P205	9,67	++
Mg	8,29	++
K	6,56	++
Ca	5,22	++
Mn	4,72	++
Fe	0,21	non significatif

B - CONCLUSIONS -

- 1° - Les teneurs moyennes de N, P2O5, Mg, K, Ca et Mn pour chaque station présentent des différences significatives entre les stations.
- 2° - Donc 10 échantillons par station suffisent pour obtenir une moyenne différenciant les stations dans le cas des éléments mentionnés en 1°
- 3° - D'après les valeurs de F au tableau I - 13 nous voyons que le Mn possède le plus grand pouvoir séparateur pour différencier les stations suivent N, P2 O5, Ca, Mg, et K par ordre de grandeur de F.

N.B. : le carbone est omis dans les analyses statistiques, les déterminations de ce dernier n'étant pas terminées lors des calculs.

3I2 - Analyses discriminante progressive des éléments d'après les teneurs moyennes des stations -

A - PRINCIPE -

L'analyse discriminante progressive nous permet de constituer une association de caractères ou éléments donnant une différenciation maximum des stations. (cf. Rao) La différenciation liée à une association est mesurée par le calcul de la distance de Mahalanolis notée D^2 . Plus le D^2 est grand plus la différenciation des stations est grande.

Le procédé est celui-ci :

1° - Nous choisissons le caractère qui a le meilleur pouvoir séparateur c'est à dire un F maximum. Dans notre cas le Mn.

2° - Au Mn, nous associons un autre caractère qui avec Mn donne le meilleur pouvoir séparateur, dans notre cas le Ca. Cette association Mn, Ca est celle donnant un D^2 maximum par rapport aux autres associations possibles avec le Mn.

3° - Nous introduisons ainsi de suite les caractères par paliers de sorte à obtenir une association de caractères donnant le meilleur pouvoir séparateur.

L'introduction d'une nouvelle variable n'est pas toujours valable même si le D^2 obtenu est supérieur au précédent. Le test de l'introduction d'une nouvelle variable se fait par la différence entre deux D^2 successifs et en comparant celle-ci aux valeurs du D^2 pour 4 degrés de liberté à une probabilité de 95 % et 99 % soit respectivement 9,49 et 13,28.

B - RESULTATS -

TABLEAU I - I4 D^2 et les différences entre les D^2 successifs -

Eléments	D^2	Différences entre les D^2 successifs -	SIGNIFICATION
Mn	64,72		
Mn, Ca	96,31	31,59	++
Mn, Ca, Mg	112,39	16,08	++
Mn, Ca, Mg, P2 O5	124,51	12,02	+
Mn, Ca, Mg, P2 O5, K	132,71	8,20	N.S.
Mn, Ca, Mg, P2 O5, K, N	141,60	8,89	N.S.

C - CONCLUSIONS -

1° - D'après le tableau I-I4 nous voyons que le groupement (Mn, Ca, Mg, P2O5) donne une différenciation maximum entre les stations avec une différence significative entre les D^2 successifs.

2° - L'introduction de N et K n'augmente pas significativement la différenciation entre les stations malgré le pouvoir séparateur important de N considéré isolément. Ceci s'explique par l'existence d'inter-relations entre les éléments et aussi par une information semblable entre le Mn et N n'augmentant pas ainsi la différenciation des stations. La différenciation des stations est d'autant plus grande que l'information apportée par l'introduction d'un élément est différente de celle du groupement.

32 - Comparaison des stations par couple -

Détermination des éléments caractérisant la roche-mère et les humus -

A - PRINCIPE -

Dans les analyses statistiques précédentes, nous avons établi qu'il y avait une différence entre stations des moyennes des teneurs pour chaque élément sauf le fer, mais l'étude a porté sur l'ensemble des stations.

L'analyse qui suit compare les stations deux à deux en utilisant l'analyse discriminante progressive pour sélectionner les éléments différenciant le mieux les stations comparées.

Aux seuils de probabilité de 95 % et 99 % les valeurs de D^2 doivent être supérieures ou égales à 6,13 et 9,77 respectivement pour que la différence soit significative entre deux stations.

B - RESULTATS -

Nous constatons par cette analyse que chaque couple de population peut être séparé à l'aide de deux caractères ; l'accroissement de la distance par l'addition d'un troisième caractère étant négligeable. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant où D^2 est fonction des sept éléments et les éléments les plus responsables de la distance sont indiqués

entre parenthèse.

TABEAU I - 15 Distance (D^2) entre les stations couplées et les éléments servant le mieux à différencier les stations des couples -

Station	I mull - grès	2 mor-grès	3 moder-grès	4 mull-granite
2 mor-grès	54,16 (Mn, Ca)			
3 moder-grès	49,42 (Mn, Ca)	2,13		
4 mull-granite	37,09 (Mn, N)	25,81 (N, K)	34,11 (N, K)	
5 moder-granite	52,13 (Mn, Mg)	8,76 (N, Ca)	14,06 (Ca, Mg)	11,16 (P2O5, Mn)

C - CONCLUSIONS -

- 1° - Seules les stations 2 et 3 ne sont pas différenciables
- 2° - Nous avons donc 4 stations différenciables, la station I (2-3), 4 et 5.
- 3° - Le Mn différencie toujours les stations à mull des stations à moder pour une roche-mère semblable telle que les grès et granite couples (I - 2), (I - 3) et (4 - 5). Le P2 O5 différencie les humus sur roche-mère granitique tandis que le Ca différencie les humus sur roche-mère gréseuse.
- 4° - Si nous comparons les stations à humus identique c'est à dire 4-I, 5-3 nous voyons que N, Ca, Mg et Mn différencient les roche-mères.
- 5° - En utilisant les observations précédentes, il nous est possible de faire une étude comparative des moyennes des éléments entre stations (Tableau I - 8).

- Cas de l'azote : Nous avons vu que cet élément était dépendant de la roche-mère, mais pour une même roche-mère il varie suivant le type d'humus. Le taux foliaire est plus élevé chez les sapins croissant sur Mull.

- Cas du P205 : Comme l'azote, le P205 est lié à la roche-mère et aussi à l'humus. Le taux foliaire de P205 est supérieur chez les sapins croissant sur Mull.

- Cas du Mg et Ca : le magnésium est avant tout lié à la roche-mère, mais semble moins abondant chez les stations à Mull contrairement au calcium.

- Cas du K et Mn : Ces deux éléments sont liés aux humus le taux de Mn étant plus élevé chez les mull et inversement pour le K. Le Mn est lié aussi à la roche-mère d'après FERRIAUX (1961) " le grès intermédiaire contient de nombreuses mouches et cavités remplies d'oxyde de Mn ". Donc il est normal que les sapins sur roche-mère gréseuse soient plus riches en Mn que ceux croissant sur granite. Le grès intermédiaire étant situé au dessus du conglomérat et du grès vosgien, il est très possible que les sols sur ces dernières formations soient enrichis par un apport en Mn, soit par érosion du grès intermédiaire, soit par les eaux de drainage.

- Cas du Fe : A cause des variations très importantes il est impossible de le lier aux humus ou roche-mères.

33 - Essai d'expression synthétique de la nutrition des sapins pectinés des cinq stations d'après les teneurs foliaires en N, P205, Mg, K, Ca, Mn et Fe -

33I - PRINCIPE -

Cette étude a pour but de trouver une expression synthétique Yi fonction des sept éléments en cause, de façon à économiser le nombre de variables. En langage statistique cette technique s'appelle l'analyse des composantes principales.

A l'aide d'un calcul matriciel sur la matrice des coefficients de corrélation entre les teneurs en éléments nous cherchons une nouvelle

variable Y_2 non corollée avec Y_1 à variance la plus grande possible après celle de Y_1 . Il se peut que les deux ou trois premières variables Y " expliquent " la plus grande partie de la variation et que la contribution des autres variables soit négligeable au moins dans les cas favorables.

Les composantes (a,b,c...) sont des coefficients appliqués aux teneurs foliaires en ‰ qui définissent les Y_i .

$$Y_i = a \text{ ‰N} + b \text{ ‰P205} + \dots$$

Dans notre cas pour bien démontrer la différence dans la nutrition des stations 1,4 et 5 et le groupe 2-3, nous allons partir des deux hypothèses suivantes :

1° - Les stations existent d'où analyse des composantes principales sur les teneurs foliaires moyennes des stations.

2° - Les stations n'existent pas d'où analyse des composantes principales sur les teneurs foliaires de chaque individu.

332 - Analyse des composantes principales sur les teneurs moyennes des stations -

A - RESULTATS -

Dans cette analyse nous cherchons les variables Y_i donnant la plus grande variance entre station en utilisant la matrice des coefficients de corrélation entre les teneurs moyennes des stations. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

TABLEAU I - I6 Variables synthétiques dépendantes des teneurs foliaires
moyennes des stations -

Variabes	Y ₁	Y ₂	Y ₃
Variations	44,7	27,8	16,5
Variations cumulées	42,7	70,5	87,0
Fonctions des Y dépendantes des teneurs moyennes des stations :	0,52 % N 0,51 % P205 0,41 % Mg -0,05 % K -0,47 % Ca -0,26 % Mn 0,01 % Fe	0,24 % N 0,19 % P205 -0,36 % Mg -0,54 % K -0,16 % Ca 0,68 % Mn -0,02 % Fe	- 0,15 % N - 0,21 % P2 05 - 0,27 % Mg - 0,19 % K - 0,14 % Ca - 0,27 % Mn - 0,75 % Fe

B - CONCLUSIONS -

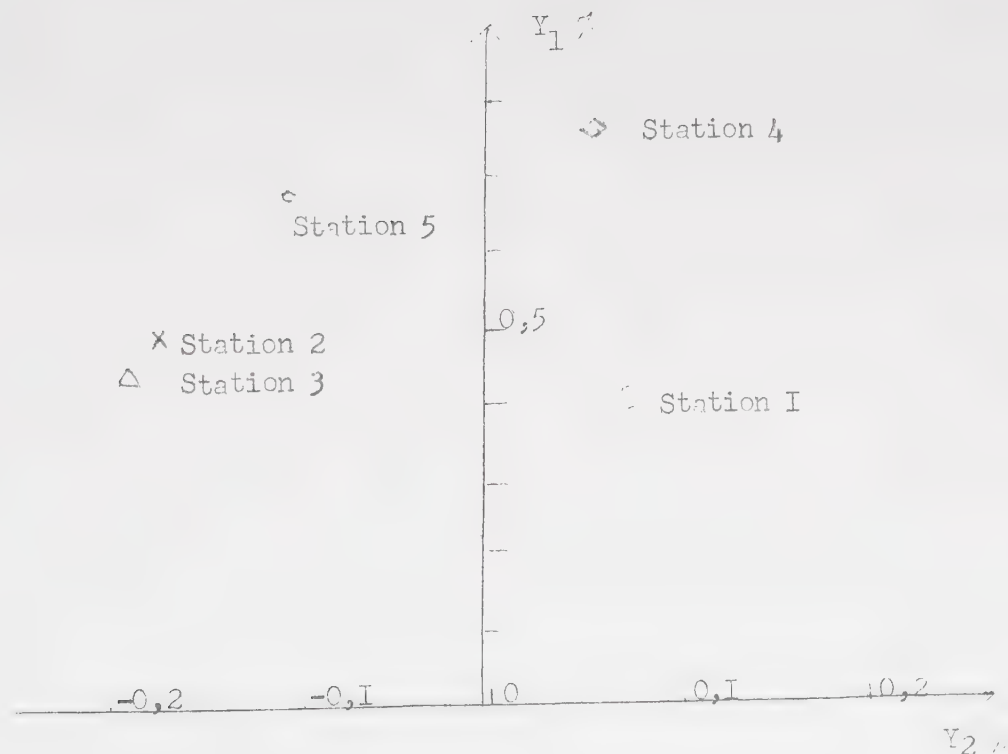
1° D'après cette analyse, nous voyons que les deux premiers vecteurs expliquent 70,5 % de la variation entre les stations. Le troisième vecteur étant surtout défini par le caractère Fe non significatif dans l'analyse de variance, il est préférable de le négliger. Deux groupes de caractères forment les facteurs les plus importants pour expliquer la variation de 70 % : l'un lié aux caractères N, P205, Ca, Mg dans le premier vecteur (Y1) et l'autre aux caractères K, Mn dans le deuxième vecteur (Y2). Ce choix étant basé sur la valeur de la composante du caractère.

2° Connaissant Y1 et Y2 il est donc possible de faire une représentation dans le plan de la différence entre les stations. (Graphique I-I). Les valeurs de Y1 et Y2 pour chaque station sont :

Stations	Y1 %	Y2 %
1	0,413	0,073
2	0,489	-0,174
3	0,442	-0,188
4	0,777	+0,056
5	0,681	-0,1059

- 3° - D'après la graphique il semblerait que la variable Y1 départagerait les roche-mères : les granites, (station 4 et 5) ayant un Y1 plus élevé que les grès (station 1, 2 et 3) tandis que la variable Y2 départagerait les humus, les stations 1 et 4 à mull ayant un Y2 positif et les stations 2, 3 et 5 à moder ou mor ayant un Y2 négatif, dépendant de la plus ou moins forte teneur en Mn et K.
- 4° - La sélection des éléments pour caractériser les roche-mères et humus au chapitre des comparaisons des stations par couple se retrouve aussi dans l'analyse présente : Nous avons Y1 dépendant surtout de teneurs en N, P205, Mg et Ca départagerait les roche-mères tandis que Y2 dépendant surtout des teneurs en Mn et K départageraient les humus.
- 5° - La distance entre les stations 2 et 3 est très faible d'après le graphique Y1 et Y2 : Nous voyons que la non-différenciation de ces stations déjà trouvée par comparaison des stations par couple se vérifie ici.

Graphique I - I Représentation graphique de la distance entre station -



333 - Analyses des composantes principales sur la population globale des cinq stations -

A - RESULTATS -

Dans ce cas nous partons de l'hypothèse de la non-existence des stations. Nous chercherons les variables Y_i donnant la plus grande variance entre chaque individu échantillonné en utilisant la matrice des coefficients de corrélation entre les teneurs en éléments des individus.

Le calcul des teneurs moyennes pour chacun des éléments, avec l'écart type et le coefficient de variation, de la population, nous a donné les résultats ci-dessous.

TABEAU I - I7 Moyennes des résultats des sept éléments pour la population des 50 individus -

Eléments	Moyenne %	Ecart type	Coeff. de varia - tion %C = $\frac{\sigma}{M} \times 100$
N	1,249	,157	12,55
P2 O5	,344	,068	19,87
Mg	,115	,063	54,30
K	,679	,114	16,84
Ca	,538	,177	32,98
Mn	,097	,107	110,42
Fe	62,00 ppm	16,55	75,07

Le calcul des composantes principales des variables Y_i et de leurs % de variation pour l'ensemble des individus nous a donné :
(Tableau I - I8)

TABIEAU I - 18 Variables synthétiques dépendantes des teneurs foliaires
de chaque individu des cinq stations -

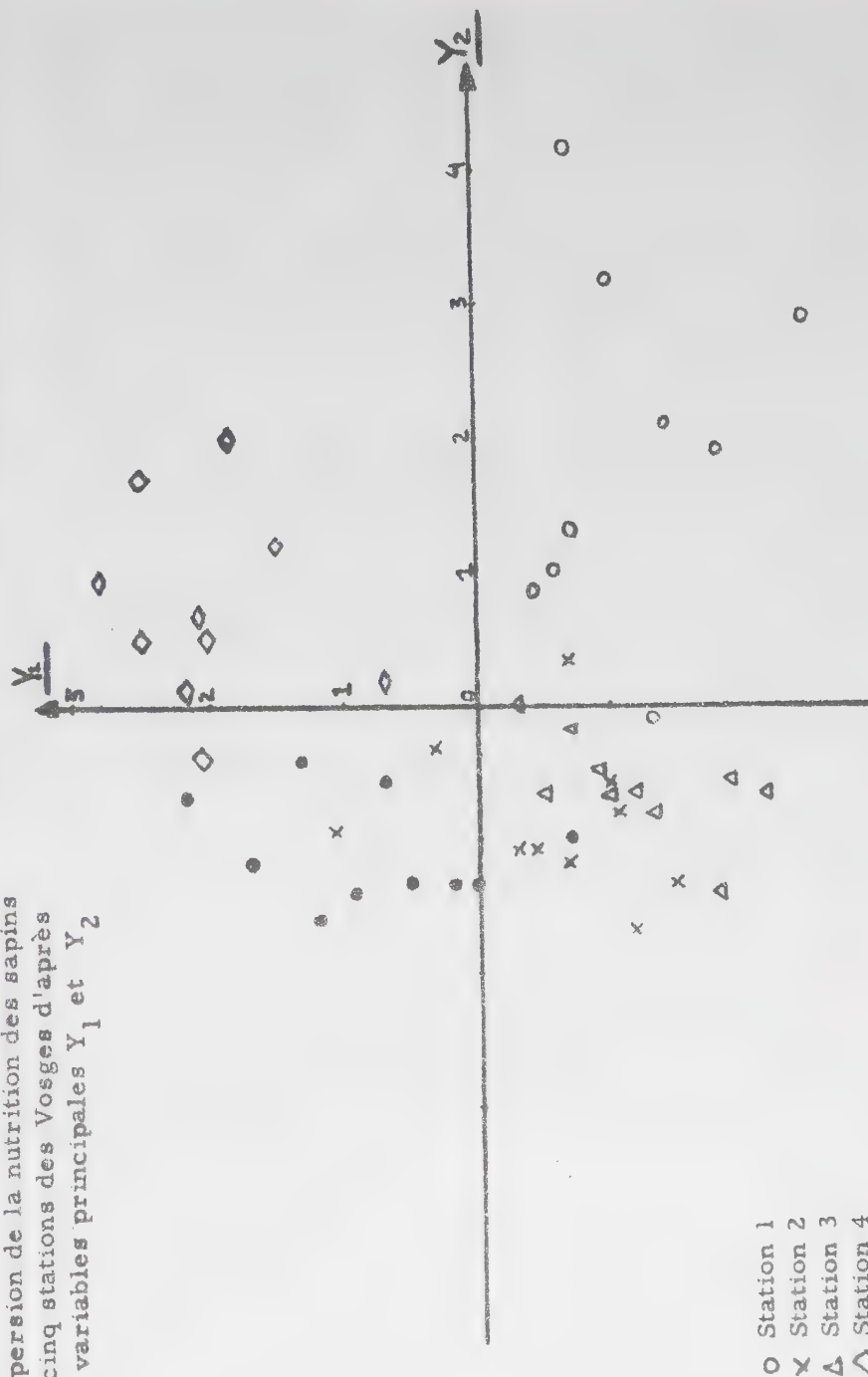
Variables		Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
% de variations		28,63	25,64	13,45	12,69	12,03	5,31	2,25
% de variations cumulées		28,63	54,27	67,72	80,41	92,44	97,75	100 00
composante de	N	,552	,306	-,143	,178	,084	,621	-,395
	P2 05	,508	,277	-,055	,392	,227	-,669	,112
	Mg	,410	-,244	-,277	-,013	-,739	,040	,384
	K	-,240	-,359	-,435	,652	,284	,229	,258
	Ca	-,410	,346	-,198	,385	-,525	-,185	-,463
	Mn	-,187	,661	,206	,117	-,059	,263	,631
	Fe	-,092	,293	-,793	-,478	,187	-,090	,067

Les calculs des variables pour chaque individu ont été faits ainsi que la graphique de dispersion de chacune des variables.

Nous voyons que les variables Y1 et Y2 absorbent 54 % de la variation entre les individus. Si nous calculons les valeurs des Yi de chaque individu, nous constatons que Y1 et Y2 donnent la meilleure distribution et dispersion de la population. Ces deux variables peuvent donc être utilisées pour une représentation graphique de la dispersion de la population en deux dimensions. Voir graphique I - 2.

GRAPHIQUE I-2

Dispersion de la nutrition des sapins
de cinq stations des Vosges d'après
les variables principales Y_1 et Y_2



B - CONCLUSIONS :

- 1° - Les variables principales Y1 et Y2 étant définies par les sept éléments (N, P205, Mg, Ca, K, Mn, Fe) nous avons donc une représentation graphique de la nutrition des sapins par un nuage de points inclus dans une ellipse de grand axe Y1 et petit axe Y2.
- 2° - D'après les composantes de Y1 et Y2, nous voyons que les deux mêmes groupes d'éléments qui fermaient les facteurs expliquant 70 % de la variation pour les moyennes des stations, se retrouvent pour expliquer 54 % de la variation entre les 50 individus des 5 stations. Ce sont pour Y1 : (N, P205, Mg, Ca) et Y2 : (Mn, K).
- 3° - La composante du Mn étant la plus importante chez la variable Y2, et les taux de Mn foliaires de la station I étant particulièrement forts comparés aux autres stations, ceci nous explique l'écartement d'une partie des points de la station I.
- 4° - La distribution des individus de chaque station respecte approximativement celle donnée par les variables Y1 et Y2 établies d'après les teneurs moyennes des stations (voir graphique I - D).
- 5° - La distribution des individus des stations 2 et 3 montre que ces deux stations ne sont pas différenciables.
- 6° - Règle générale, comme pour les teneurs moyennes des stations les individus des stations I et 4 à mull possèdent un Y2 positif.
- 7° - Cette analyse montre que les mêmes groupes d'éléments définis dans l'analyse précédente caractérisent les roche-mères et les humus : (N, P205, Mg, et Ca) en donnant un Y1 positif en général pour les stations sur granite et négatif pour les stations sur grès : et (Mn, K) en donnant un Y2 positif en général pour les stations à mull et négatif pour les stations à moder et mor.
- 8° - Ce graphique pourra donc être utilisé pour étudier la nutrition des sapins d'une station quelconque afin d'établir si celle-ci est normale ou pas. D'autres analyses foliaires de sapins croissant normalement dans des conditions différentes seront utiles pour parfaire cette distribution de la nutrition du sapin. De même des graphiques semblables pourraient être faits pour une population croissant sur une même roche-mère couvrant toutes les conditions possibles.

34 - Inter-relation entre les éléments :

Les auteurs ont observé très souvent des phénomènes d'antagonismes entre éléments ou stimulateurs chez la physiologie des plantes. Ces phénomènes s'expliquent mathématiquement par des corrélations positives ou négatives suivant que l'on a un effet stimulateur ou d'antagonisme.

Dans notre travail, nous avons trois moyens à notre disposition pour étudier les corrélations entre éléments :

1° - Les coefficients de corrélations inter-station, c'est à dire entre les moyennes des éléments des stations (Tableau I - 2I) -

2° - Les coefficients de corrélation intra-station, c'est à dire entre les résultats des éléments de chaque échantillon à l'intérieur des stations. Ce coefficient est une moyenne des cinq stations.

3° - Les coefficients de corrélation totale entre les éléments pour les cinq stations, c'est à dire pour la population de 50 sapins échantillonnés, sans tenir compte des stations (Tableau I - 20).

A - Coefficients de corrélations inter-stations -

Les coefficients de corrélation inter-stations entre éléments sont significatifs aux seuils de 95 % et 99 % pour les valeurs respectives de 0,811 et 0,917. Seules les corrélations N - K, P205 - K sont significatives à 99 % tandis que celles N - P205 et Mn - Mg sont significatives à 95 %.

Les graphiques de ces corrélations sont donnés au graphique I - I3.

B - Coefficients de corrélations intra-stations et total -

Nous traitons ces deux coefficients ensemble car ils sont basés sur l'inter-relation entre les mesures initiales mais différents par le facteur station

dans les cas des coefficients de corrélation intra-stations.

Les coefficients intra-stations sont significatifs aux seuils de 95 % et 99 % de probabilité pour les valeurs de 0,288 et 0,372 correspondant au nombre de degrés de liberté de 45. Dans ce cas les éléments intercorréllés sont :

N - P2 05 :	= 0,41 très significatif
Ca - Mg :	= 0,46 très significatif
Ca - Mn :	= 0,65 très significatif
N - K :	= 0,25 Limite de signification
P2 05 - K :	= 0,25 Limite de signification

Les coefficients de corrélation totaux sont significatifs aux seuils de 95 %, 99 % et 99,9 % de probabilité pour les valeurs de 0,27, 0,35 et 0,44 respectivement correspondant au nombre de degrés de liberté de 49. Dans ce cas les éléments intercorréllés sont : (Tableau I - 20).

N - P2 05 ,	= 0,63 très très significatif
Ca - Mn ,	= 0,52 très très significatif
Mg - Mn ,	= -0,42 très significatif
K - Mn ,	= -0,32 très significatif
N - Mg ,	= 0,28 significatif
N --K ,	= -0,25 à la limite

Ces corrélations sont présentées aux graphiques I - 4. à I - 8.

C - CONCLUSIONS -

I° - La régression la meilleure est celle de l'azote % vs % P2 05. La disposition générale des points de stations se situe dans l'axe de la courbe de la population (Graphique I-4). Notons que le groupement des stations améliore la précision de la relation. La disposition générale des points laisse croire qu'une fonction logarithmique augmenterait la valeur de t (courbes en traits discontinus).

- 2° - Les régressions % Ca vs % Mn, % Mg vs % Mn et % K vs % Mn montrent deux groupements différents dans les échantillons :
- 1) le groupement des humus moder et mor et
 - 2) Le groupement des humus mull, ceux-ci étant plus riches en Mn d'après les deux premières régressions et moins riches en K d'après la régression % K vs % Mn.

D'ailleurs le groupement des stations suivant les humus semble avantager les régressions comme le montrent les courbes en traits discontinus aux graphiques I - 5 et I - 7. Par exemple dans le cas de la régression % Ca vs % Mn $r_{\text{intra}} = 0,65$ et $r_{\text{total}} = 0,52$. Dans les cas des régressions % Mg vs % Mn et % K vs % Mn, la régression pour chacune des stations semble positive bien que non significative tandis qu'en groupant les stations nous obtenons une régression négative.

- 3° - La régression % Ca vs % Mg donne un coefficient de corrélation positif à l'intérieur de chaque station, tandis que le coefficient serait négatif pour le total des stations.

Ici deux groupements se distinguent suivant les roche-mères : les stations 4 et 5 sur granite très riches en Mg et les stations 1,2, 3 sur roche-mères gréseuses.

- 4° - Les corrélations % Mg vs % Mn, % K vs % Mn et % Ca vs % Mg sont positives à l'intérieur des stations de même type d'humus ou de roche-mère, et négatives pour l'ensemble des stations. Il semble donc qu'à l'intérieur d'une même station les corrélations traduisent un phénomène d'absorption racinaire. Tandis que pour l'ensemble des stations les corrélations traduisent soit une disponibilité des éléments, l'antagonisme entre ceux-ci ayant lieu dans les sols (% Mg vs % Mn) soit que nous soyons dans des milieux nutritionnels différents les corrélations positives ayant lieu à des niveaux différents deviennent pour l'ensemble une corrélation négative (% K vs % Mn) et (% Ca vs % Mg).

- 5° - Les rapports C/N et Ca/Mg nous donnent des renseignements intéressants :

TABEAU I - 19 Les rapports C/N et Ca/Mg foliaires :

Stations	Humus	Roche-mères	C/N	Ca/Mg
1	Mull	gréseuse	38,9	13,23
2	Mor	"	48,4	4,75
3	Moder	"	46,4	6,54
4	Mull	granite	38,1	2,89
5	Moder	"	41,6	2,23

Le rapport C/N différencie très nettement les humus tandis que le rapport Ca/Mg différencie surtout les roche-mères.

TABLEAU I - 20 Coefficients de corrélation entre les 7 éléments
pour l'ensemble de la population des stations -

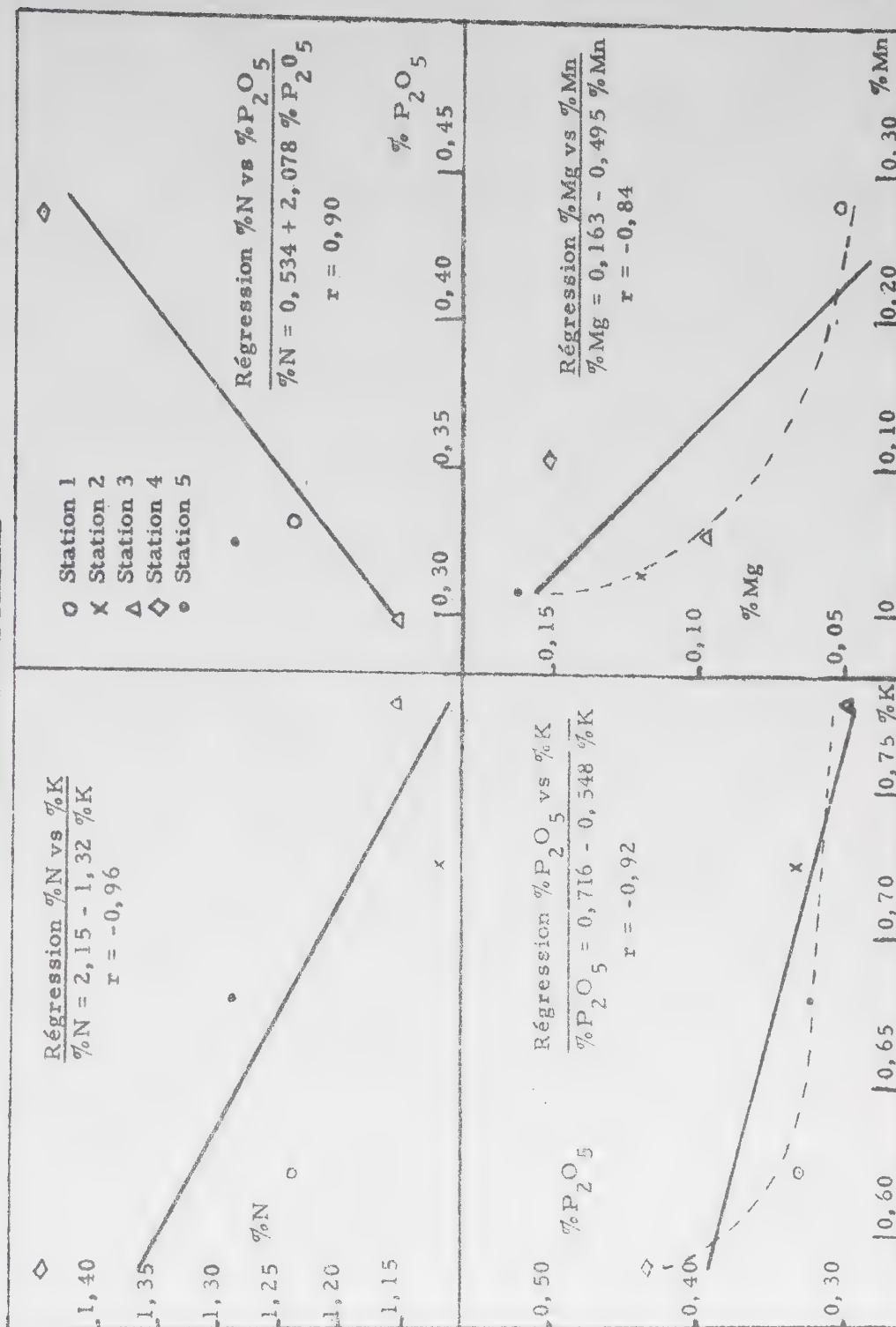
Eléments	N	P2 05	Mg	K	Ca	Mn	Fe
N	100						
P2 05	,63	1,00					
Mg	,28	,16	100				
K	-,25	-,117	-,10	1,00			
Ca	-,23	-,17	-,15	,11	1,00		
Mn	,16	,09	-,42	-,32	,52	1,00	
Fe	,07	-,02	-,11	-,06	,16	,16	100

TABLEAU I - 21 Matrice des coefficients de corrélation inter et intra
stations -

I N T R A		N	P2 05	Mg	K	Ca	Mn	Fe
	N	1,00	0,41	0,16	0,25	0,14	0,19	0,07
	P2 05		1,00	-0,05	0,25	0,08	0,14	-0,05
	Mg			1,00	-0,09	0,46	0,13	-0,07
	K				1,00	-0,02	-0,03	-0,04
	Ca					1,00	0,65	0,14
	Mn						1,00	0,17
	Fe							1,00

I N T E R	N	1,00	0,90	0,47	-0,96	-0,69	0,17	-0,02
	P2 05		1,00	0,47	-0,92	-0,55	0,09	-0,03
	Mg			1,00	-0,07	-0,01	-0,84	-0,17
	K				1,00	0,37	-0,61	-0,03
	Ca					1,00	0,58	-0,11
	Mn						1,00	-0,20
	Fe							

GRAPHIQUE I - 3



Régression %N vs %P₂O₅

%N

$$\%N = 0,749 + 1,45 \% P_2O_5$$

$$r = 0,63$$

1,60

1,50

1,40

1,30

1,20

1,10

1,00

0,90

0,20

0,30

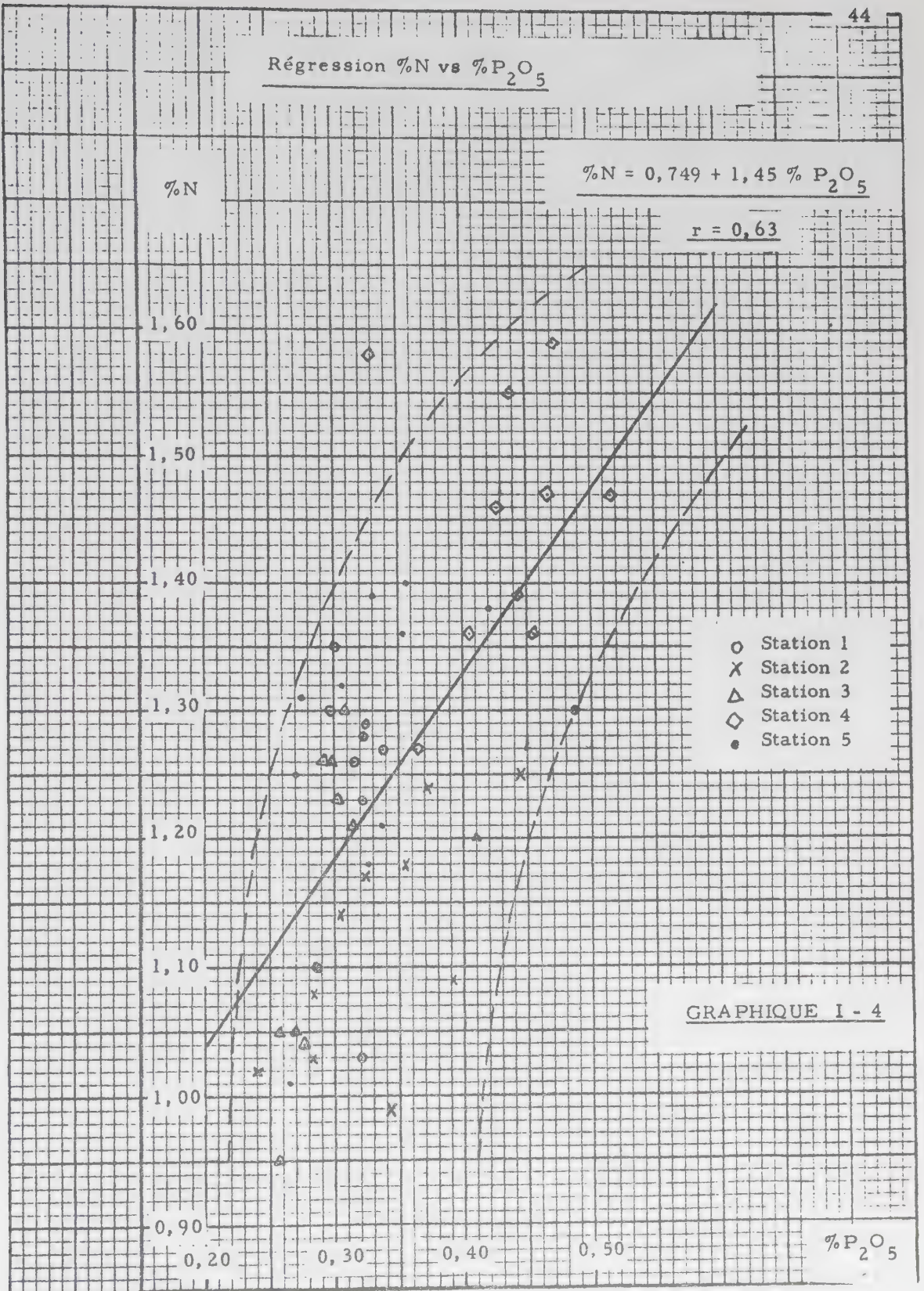
0,40

0,50

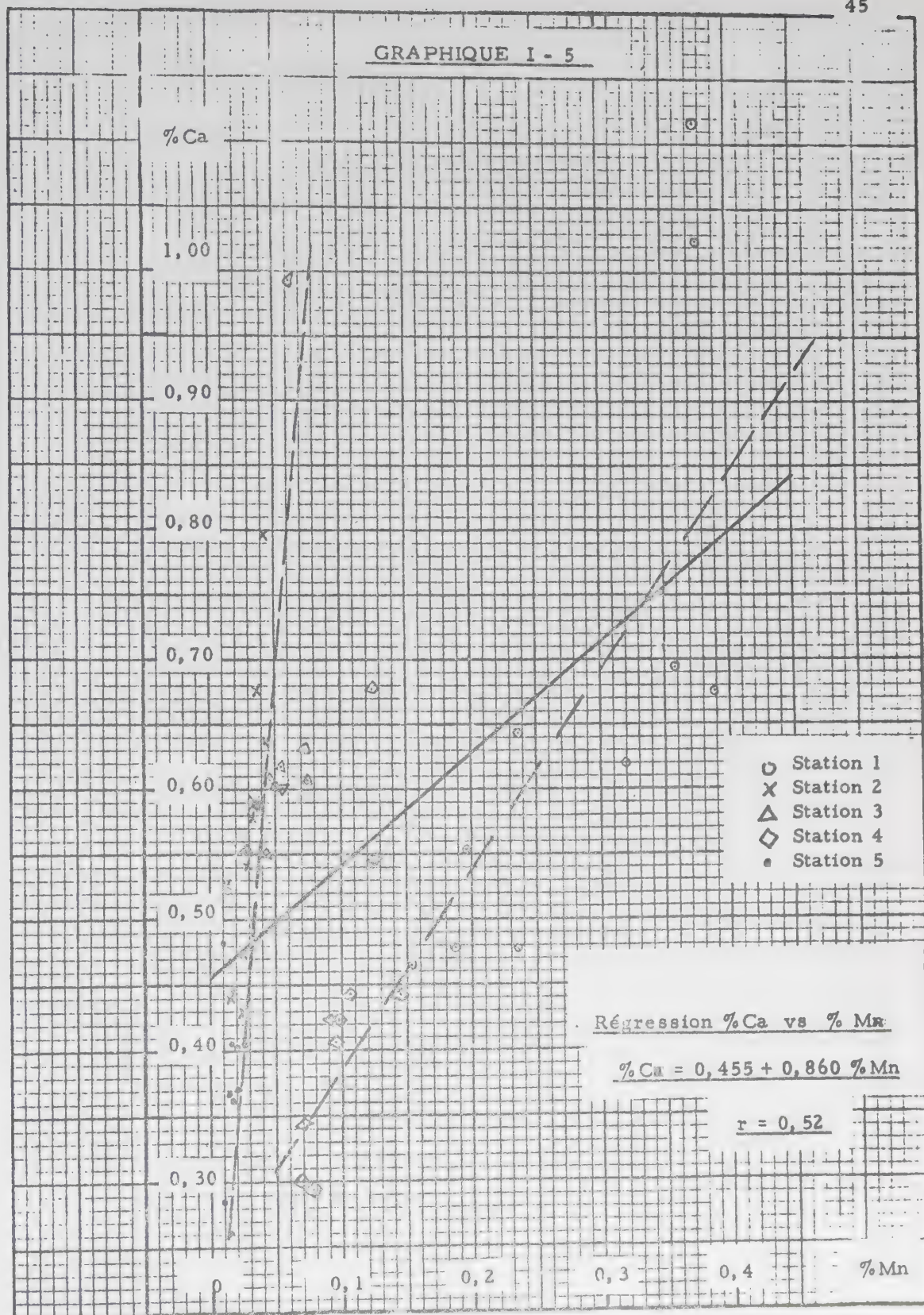
%P₂O₅

- Station 1
- × Station 2
- △ Station 3
- ◇ Station 4
- Station 5

GRAPHIQUE I - 4



GRAPHIQUE 1 - 5



GRAPHIQUE I-5

Régression %Mg vs %Mn

$$\%Mg = 0,139 - 0,247 \%Mn$$

$$r = -0,42$$

%Mg

0,30

0,25

0,20

0,15

0,10

0,05

0,00

0

0,1

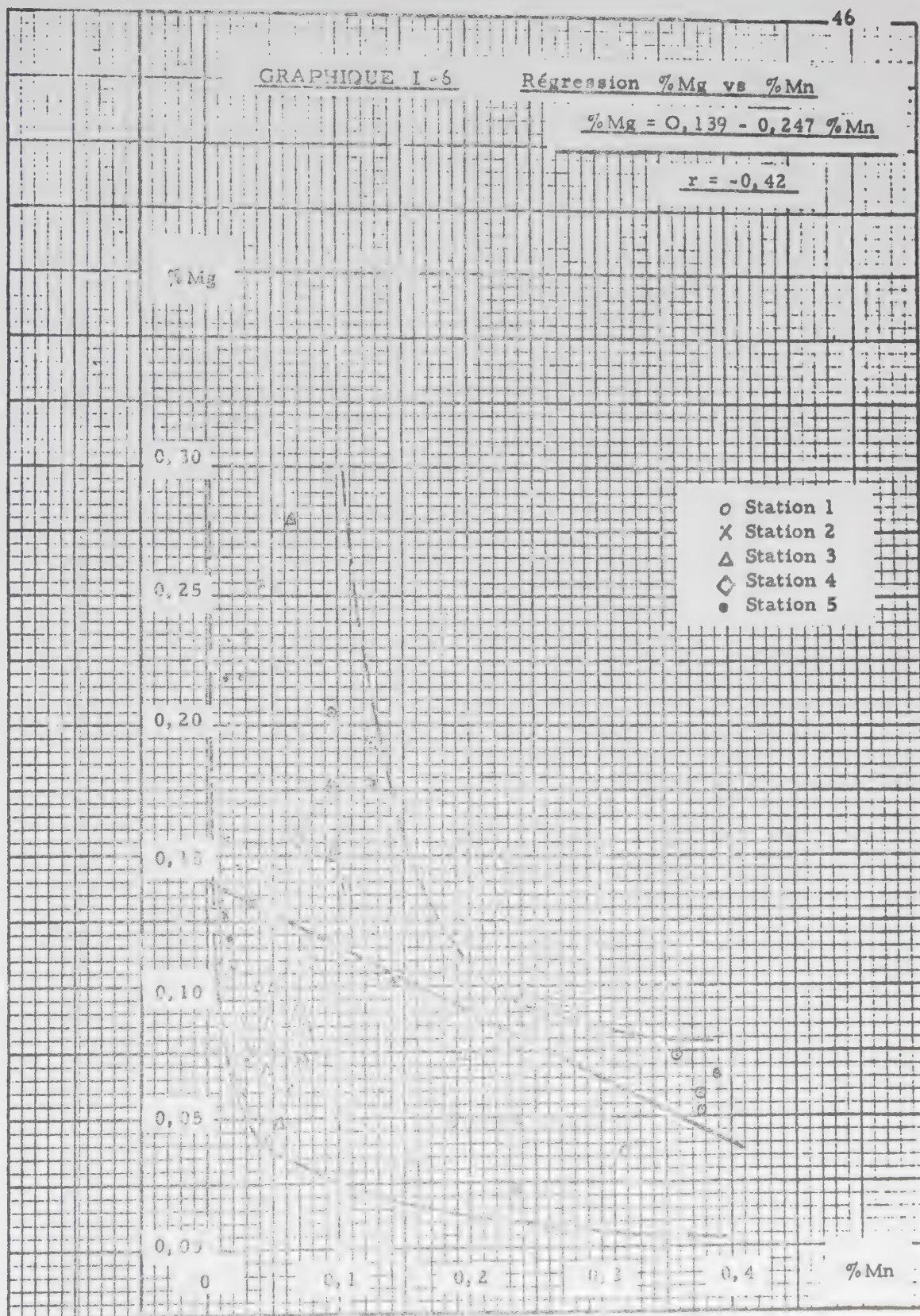
0,2

0,3

0,4

%Mn

- Station 1
- × Station 2
- △ Station 3
- ◇ Station 4
- Station 5



GRAPHIQUE I - 7

Régression %K vs %Mn

$$\%K = 0,712 - 0,341 \%Mn$$

$$r = -0,32$$

%K

- Station 1
- × Station 2
- △ Station 3
- ◇ Station 4
- Station 5

1,00

0,90

0,80

0,70

0,60

0,50

0,40

0

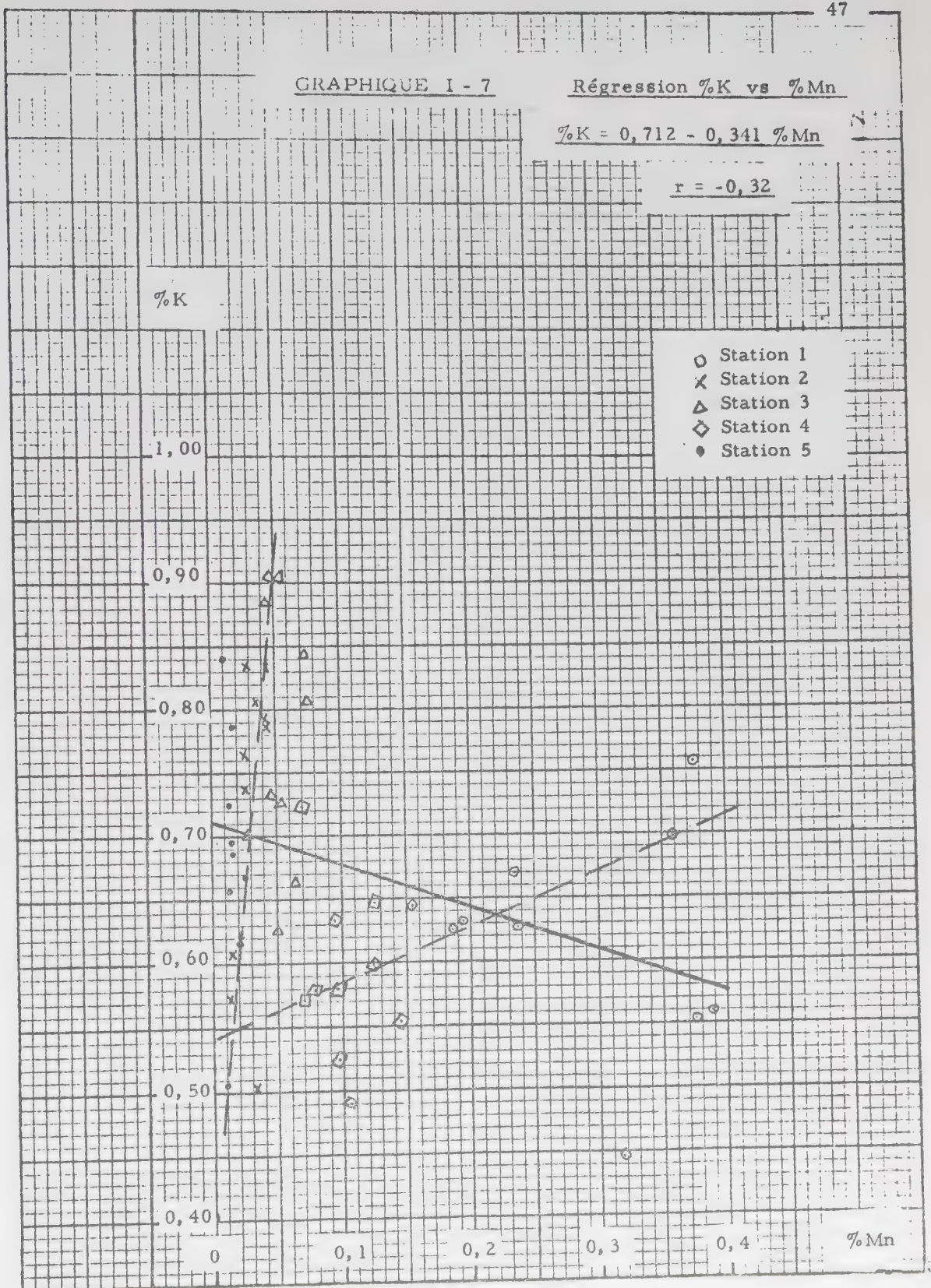
0,1

0,2

0,3

0,4

%Mn



GRAPHIQUE I - 8

Régression % Ca vs % Mg

 $r_{\text{intra-station}} = 0,46$ $r_{\text{total}} = -0,15$

% Ca

1,00

0,90

0,80

0,70

0,60

0,50

0,40

0,30

0

0,05

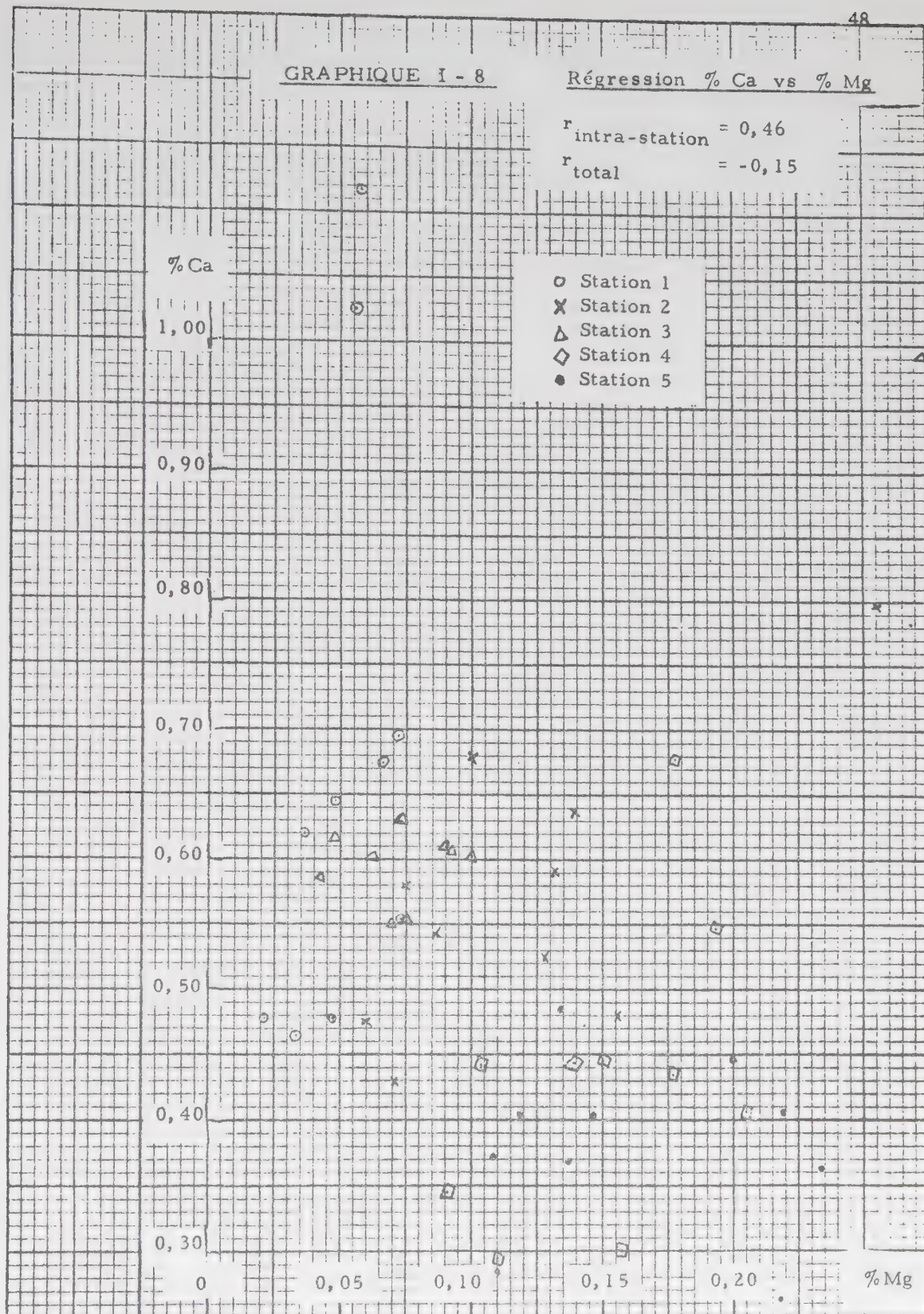
0,10

0,15

0,20

% Mg

- Station 1
- × Station 2
- △ Station 3
- ◇ Station 4
- Station 5



CONCLUSIONS GÉNÉRALES

=====

Les résultats essentiels de cette étude de la nutrition du sapin pectiné sur cinq stations moyennes situées soit sur grès ou granite à mull, moder ou mor sont les suivants :

1° - Avec 10 échantillons par station, seuls les éléments N, K, et C présentent des teneurs moyennes significatives par station.

2° - Par contre les teneurs moyennes des aiguilles en N, P2 O5, Mg, Ca, K, Mn présentent des différences significatives entre stations. Le Mn est l'élément présentant les différences les plus importantes : 0,10 % à 0,28 % pour les stations à mull contre 0,016 % à 0,053 % pour les stations à moder et mor.

3° - Nous obtenons une différence maximum entre les stations en associant les éléments suivants : Mn, Ca, Mg et P2 O5.

4° - La comparaison des stations deux à deux et les analyses des composantes principales nous montrent que :

- a) Les différences d'humus comme les différences de roche-mère entraînent à l'intérieur du massif vosgien, des différences dans la nutrition des sapins adultes et des semis.
- b) Les teneurs en Mn et K caractérisent les humus tandis que celles en N, P2 O5, Mg et Ca caractérisent les roche-mères. Cependant les teneurs en Mn et K varient d'une roche-mère à l'autre pour un même type d'humus et les teneurs en N, P2 O5, Mg et Ca varient d'un type d'humus à un autre pour une même roche-mère. Il semble curieux que l'azote caractérise et donc

dépende de la roche-mère ? Mais la disponibilité de l'azote dans l'humus est le résultat d'une activité biologique dans un milieu plus ou moins riche en bases échangeables et autres éléments qui eux sont directement dépendants de la roche-mère. Bien entendu l'humus et son rapport C/N sont dépendants de la végétation et du climat ou micro-climat ; mais si ce dernier est totalement indépendant de la roche-mère, la végétation elle en dépend dans une forte proportion. Une bonne nutrition minérale de la biosphère d'une station contribue à un cycle plus rapide de l'azote et donc une plus forte disponibilité.

5° - Les analyses discriminantes progressives et des composantes principales des résultats des analyses foliaires, se révèlent comme étant un moyen très adéquat dans l'étude de la nutrition des arbres forestiers, pour vérifier mathématiquement : soit les différences entre stations, soit pour établir la part d'importance des éléments dans les différences ou variations observées.

6° - La fertilité maxima s'observe dans la station à mull sur granite où la nutrition en azote et P₂O₅ est meilleure que sur les stations à moder et mor, et même la station à mull sur grès intermédiaires. La nutrition en magnésium semble déficiente pour les stations sur grès comparée aux stations sur granite dans le même type d'humus.

7° - Sur la base des résultats de l'étude de la nutrition du sapin des 5 stations échantillonnées, il semble qu'on pourrait augmenter la production des sapinières à mull, moder et mor sur grès par une fertilisation en azote, phosphate et magnésium. Tandis que les sapinières à moder sur granite demanderaient une fertilisation azotée et phosphatée pour augmenter la fertilité.

Toutefois l'étude de la nutrition du sapin sur un plus grand nombre de stations de différents types serait nécessaire pour généraliser ces conclusions.

8° - Conclusions sur le Mn :

ROUSSEAU (1960), après avoir étudié le problème de la non-régénération des sapinières à mull, constate une intoxication par le manganèse (Mn). Cette intoxication serait à la fois chimique et physique : chimique en inhibant la croissance des racines et physique car le manganèse forme une gaine autour des racines par l'alternance des périodes sèches et humides.

Les analyses foliaires des sapins adultes de nos stations révèlent une variation de 100 à 3890 parties par million, cependant les stations à mull dénotent des concentrations plus élevées variant de 700 à 3890 parties par million.

Ces fortes concentrations en Mn des aiguilles de sapin des stations à mull appuient la thèse de Rousseau (1960). Même si ces fortes concentrations de Mn supposent une tolérance de la part des sapins adultes, ceux-ci échappent à l'intoxication grâce à leur énorme système racinaire. Tandis que les semis possédant un système racinaire distribué que dans les horizons AI, à forte teneur en Mn sont facilement sujet à l'intoxication par le Mn. Le développement des racines étant inhibées les semis offrent moins de résistance aux sécheresses estivales.

Nous avons vu que les teneurs foliaires moyennes des sapins adultes en Mn différencient le mieux les stations et les humus. Le Mn semble donc avoir un rôle important dans la sapinière vosgienne par sa forte concentration dans les mull qui se reflète au niveau foliaire.

D'où provient cette accumulation du Mn échangeable dans les mull ? Quelle en est la cause ? Pourquoi cette accumulation chez les mull et non chez les moder et mor ? Quelle est le devenir du Mn des litières chez les stations à mull ? Nous essaierons de répondre à ces questions dans la deuxième partie de ce travail.

DEUXIEME PARTIE

- EXPERIENCES AU LABORATOIRE : ETUDE DE L'OXYDO-REDUCTION ET DE
L'EVOLUTION DU MANGANESE DANS LES MULL ET MODER DE SAPINIERE -

I N T R O D U C T I O N

Dans la première partie de ce travail nous avons constaté que les aiguilles de sapin provenant d'arbres croissant sur des humus Mull contenaient un fort pourcentage de Manganèse comparé à ceux croissant sur humus Moder ou Mor (de 2 à 20 fois plus).

ROUSSEAU (1960) a démontré que les humus Mull accumulaient le Mn échangeable. D'où il est plausible de croire que le Mn des litières sur station à humus Mull est fixé par le complexe absorbant et accumulé dans le temps.

Les deux expériences de cette partie ont pour but :

1° - D'étudier l'action de la microflore du Mull et Moder de la sapinière sur deux formes possibles du Mn (Mn^{2+} , Mn^{4+}).

2° - D'élucider le devenir du Mn des litières sur les stations à humus Mull et Moder de la sapinière.

Par ces expériences, nous essaierons d'expliquer l'accumulation du Mn échangeable chez l'humus Mull de la sapinière à Hêtre.

CHAPITRE I

=====

EXPERIENCE EN MILIEU LIQUIDE -- ACTION DE LA MICROFLORE SUR
DEUX FORMES DE MANGANESE

II -- DESCRIPTION --

Cette expérience a pour but principal de comparer l'action des microflores de trois humus sur le Manganèse présent dans un milieu microbiologique liquide. Les trois humus sont : un Mull de la sapinière à Hêtre, un Moder de la sapinière et un Mull d'une Hêtraie.

III -- Méthodologie --

La méthode consiste à ensemercer un milieu microbiologique avec des dilutions de 10^{-1} à 10^{-6} de la microflore des Humus.

Les dilutions sont faites à partir de 10 gr de sol humide tamisé à 2 mm et ajouté à 95 ml d'eau distillée et stérilisée, le tout étant agité mécaniquement pendant 30 mn. Nous obtenons ainsi la dilution 10^{-1} de laquelle sont extraites les dilutions 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} .

L'ensemencement du milieu est fait par l'addition de 0,5 ml de dilution microbienne par tube contenant 10 ml du milieu de culture et le tout étant incubé à 28° C.

III2 -- Milieu de Culture --

Le milieu de culture utilisé est celui décrit par GERRETSEN (F.C.) (1937) avec modification en ce qui concerne la concentration et les formes de Mn dans le milieu. Trois milieux différents par le Mn présent ont été ensemencés : Composition des Milieux par tube :

1) Milieu avec Mn O₂

Citrate de calcium	200 mg/tube
Mn O ₂	0,690 me Mn = 30 mg/tube
Solution de :	
{ (NH ₄) ₂ SO ₄ ... 2 g	
{ Mg NH ₄ PO ₄ .. Trace	
{ Eau 1000 ml.....	10 ml/tube

2) Milieu avec Mn SO₄ (GERRETSEN)

Citrate de calcium	200 mg/tube
Solution de :	
{ (NH ₄) ₂ SO ₄ 2 g	
{ Mg NH ₄ PO ₄ .. Trace	
{ MnSO ₄ H ₂ O / 59,17 me Mn. 5 g	
{ Eau 1000 ml..	10 ml/tube

3) Milieu avec Mn SO₄ + Mn O₂

Citrate de calcium	200 mg/tube
Mn O ₂	30 mg/tube
Solution de :	
{ Mn SO ₄ H ₂ O 5 g	
{ (NH ₄) ₂ SO ₄ 2 g	
{ Mg NH ₄ PO ₄ Trace	
{ Eau..... 1000 ml.....	10 ml/tube

Le pH des milieux a été fixé à 4,9 ce qui est le pH se rapprochant de celui des humus Mull de la sapinière. Cependant le milieu ayant été stérilisé dans les tubes après fixation du pH, nous avons constaté une augmentation de celui-ci dans les tubes témoins après stérilisation, de sorte que le pH au départ variait suivant les milieux de 6,8 à 7,9

Des raisons précises sont à la source de ces différents traitements :

- 1° Le traitement avec MnO₂ a pour but de comparer les pouvoirs réducteurs des microflores des humus.
- 2° Le traitement avec MnSO₄ a pour but de comparer les pouvoirs oxydants.
- 3° Le traitement MnSO₄ + MnO₂ a pour but de constater s'il y a inhibition du pouvoir réducteur par la présence de Mn soluble dans le milieu. Car dans chaque cas c'est le Mn soluble donc sous forme réduite (Mn²⁺ ou Mn³⁺).

qui sera dosé, sa variation positive ou négative permettant de conclure s'il y a dominance de la réduction ou de l'oxydation dans le milieu.

Cinq répétitions par dilution ont étéensemencées de sorte que cinq déterminations dans le temps du Mn soluble dans les milieux sont possibles.

TABLEAU II - I Dispositif expérimental -

Milieu	H U M U S			Témoins
	Mull de sapinière dilutions 10 ⁻¹ à 10 ⁻⁶	Moder de sapinière dilutions 10 ⁻¹ à 10 ⁻⁶	Mull de hêtraie dilutions 10 ⁻¹ à 10 ⁻⁶	
avec MnO ₂	30 tubes	30 tubes	30 tubes	6 tubes
avec MnSO ₄ · H ₂ O	30 tubes	5 répétitions par dilution = 30 tubes	30 tubes	6 tubes
avec MnSO ₄ + MnO ₂	30 tubes	30 tubes	30 tubes	6 tubes

III3 - Caractéristiques des humus -

TABLEAU II - 2 Caractéristiques des humus -

Humus	R. M.	Profil	C %	N %	C/N	M.O. %	H ₂ O %
Mull de la sapinière	Grès intermédiaire	Sol brun acide	5,53	0,28	19,7	9,5	48,4
Moder de la sapinière	Grès vosgien + colluvium de conglomérat	Sol ocre podzoli- que	9,41	0,37	25,4	18,8	80,3
Mull de Hêtraie	Calcaire bajo- cien + collu- vium	Sol brun lessivé	6,37	0,37	18,2	12,7	61,3

COMMENTAIRES :

Le fait d'une différence dans l'humidité des humus utilisés et donc du poids sec à 105° C, nous laisse sceptique sur la valeur de comparaison des microflores de ces humus. De toute façon, la comparaison reste valable sur le plan naturel, car ces humidités sont celles d'humus pris en forêt à un moment donné sous des conditions atmosphériques et saisonnières identiques (mars 1965), et ainsi les rendements observés sont attribuables à la microflore de 10 g d'humus tel qu'existant dans la nature.

II4 - Technique de détermination du Mn soluble dans le milieu -

A) Rythme des déterminations -

Les déterminations ont eu lieu à 4, 8, 13, 21 et 29 jours après le début d'incubation. Chaque fois, un tube par dilution et par traitement pour chacun des humus étant utilisé.

B) Technique de détermination -

1 - le pH : Le contenu du tube est transvasé dans un bécher de 25 ml et passé au pH mètre

2 - Détermination du Mn soluble :

- Le contenu du bécher est filtré et amené à 100 ml
- Une prise d'environ 20 ml des 100 ml est centrifugée à 6 000 tours/minute pendant 5 minutes, dans un tube côneique de façon à éliminer toute suspension colloïdale de MnO₂ dans la solution.
- La détermination du Mn se fait sur une prise de 10 ml des 20 ml centrifugée en ce qui concerne le milieu avec MnO₂. Tandis que 5 ml sont suffisants pour les autres milieux de culture.
- Le Mn est dosé par colorimétrie suivant la méthode

de WILDE et VOIGT modifiée, avec minéralisation des produits organiques par H_2SO_4 (2 ml) et H_2O_2 (5 ml) après évaporation à sec.

3 - Particularités :

- les tubes des déterminations à huit jours ont été conservés à la chambre froide ($4^\circ C$) pendant 4 jours, après 8 jours d'incubation.

- les tubes des déterminations à treize jours ont été conservés à la chambre froide ($4^\circ C$) pendant 2 jours, après 13 jours d'incubation

Ceci a été fait pour stopper ou ralentir l'action de la microflore, dans l'attente du dosage du Mn soluble.

I2 - RESULTATS et INTERPRETATIONS -

I2I - Milieu de culture enrichi en MnO_2 -

A - Evolution du pH des milieux :

TABLEAU II - 3 pH's du milieu enrichi en MnO_2 -

HUMUS	Dilutions	Déterminations				
		4 jours	8 jours	13 jours	21 jours	29 jours
Mull de sapinière	10^{-1}	8,29	8,18	7,99	7,78	7,47
	10^{-2}	8,32	8,30	8,13	8,31	7,65
	10^{-3}	8,30	8,20	8,40	8,26	8,20
	10^{-4}	8,29	8,22	8,20	8,30	8,20
	10^{-5}	7,97	7,61	8,34	8,20	8,12
	10^{-6}	7,93	7,61	8,32	7,57	7,70
Moder de sapinière	10^{-1}	8,38	8,16	8,21	8,21	8,18
	10^{-2}	8,35	8,27	8,26	8,20	8,11
	10^{-3}	8,35	8,20	8,28	8,20	8,11
	10^{-4}	8,33	8,21	8,52	8,15	8,11
	10^{-5}	8,00	7,69	7,65	8,01	7,48
	10^{-6}	7,97	7,60	7,51	7,51	7,50
Mull de Hêtraie	10^{-1}	8,37	8,68	8,22	7,21	7,52
	10^{-2}	8,40	8,44	8,29	8,20	7,72
	10^{-3}	8,42	8,30	8,25	8,15	8,10
	10^{-4}	8,34	8,20	8,31	8,18	8,22
	10^{-5}	8,20	8,21	8,35	8,27	8,02
	10^{-6}	8,23	7,93	8,33	8,24	7,70
	T	7,99	7,69	7,75	7,48	7,31

T : Témoins

B - Evolution du Mn soluble des milieux :TABLEAU II - 4 Mn soluble total en me dans les milieux enrichis en MnO₂ -

Humus	Dilutions	D é t e r m i n a t i o n s					
		4 jours	8 jours	13 jours	21 jours	29 jours	Moyenne
Mull de sapinière	IO-1	0,057	0,202	0,116	0,125	0,117	0,120
	IO-2	48	58	28	59	87	56
	IO-3	87	65	29	33	34	40
	IO-4	74	65	42	59	38	56
	IO-5	92	81	65	73	36	71
	IO-6	73	76	53	93	82	75
Moder de sapinière	IO-1	0,041	0,074	0,073	0,092	0,063	0,069
	IO-2	60	65	50	62	26	53
	IO-3	33	65	42	39	24	51
	IO-4	69	74	81	32	12	53
	IO-5	60	65	83	73	61	68
	IO-6	86	76	75	77	65	76
Mull de Hêtraie	IO-1	0,038	0,039	0,184	0,132	0,156	0,110
	IO-2	59	24	61	68	0,171	77
	IO-3	24	38	42	25	63	38
	IO-4	45	45	63	35	16	41
	IO-5	32	61	18	65	26	40
	IO-6	89	76	63	54	57	68
	T	0,068	-	0,081	0,081	0,070	0,075

T : témoins

C - Apport en Mn soluble par 0,5 ml de la dilution IO⁻¹ de la microflore des humus :

Mull de la Sapinière : 0,0001 me

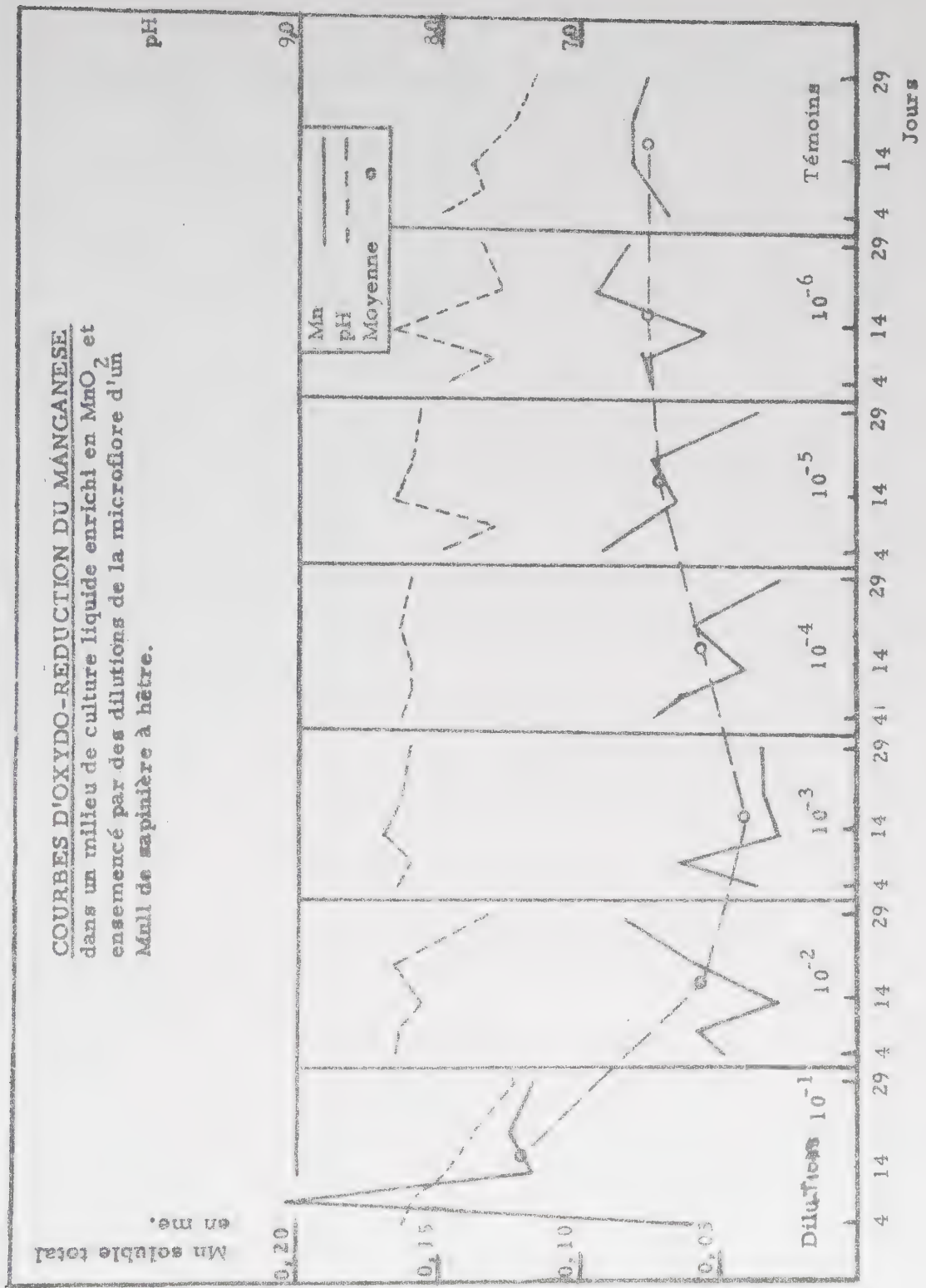
Moder de la Sapinière : 0,0000 me

Mull de la Hêtraie : 0,0001 me

D - Courbes d'oxydo-réduction et des pH's :

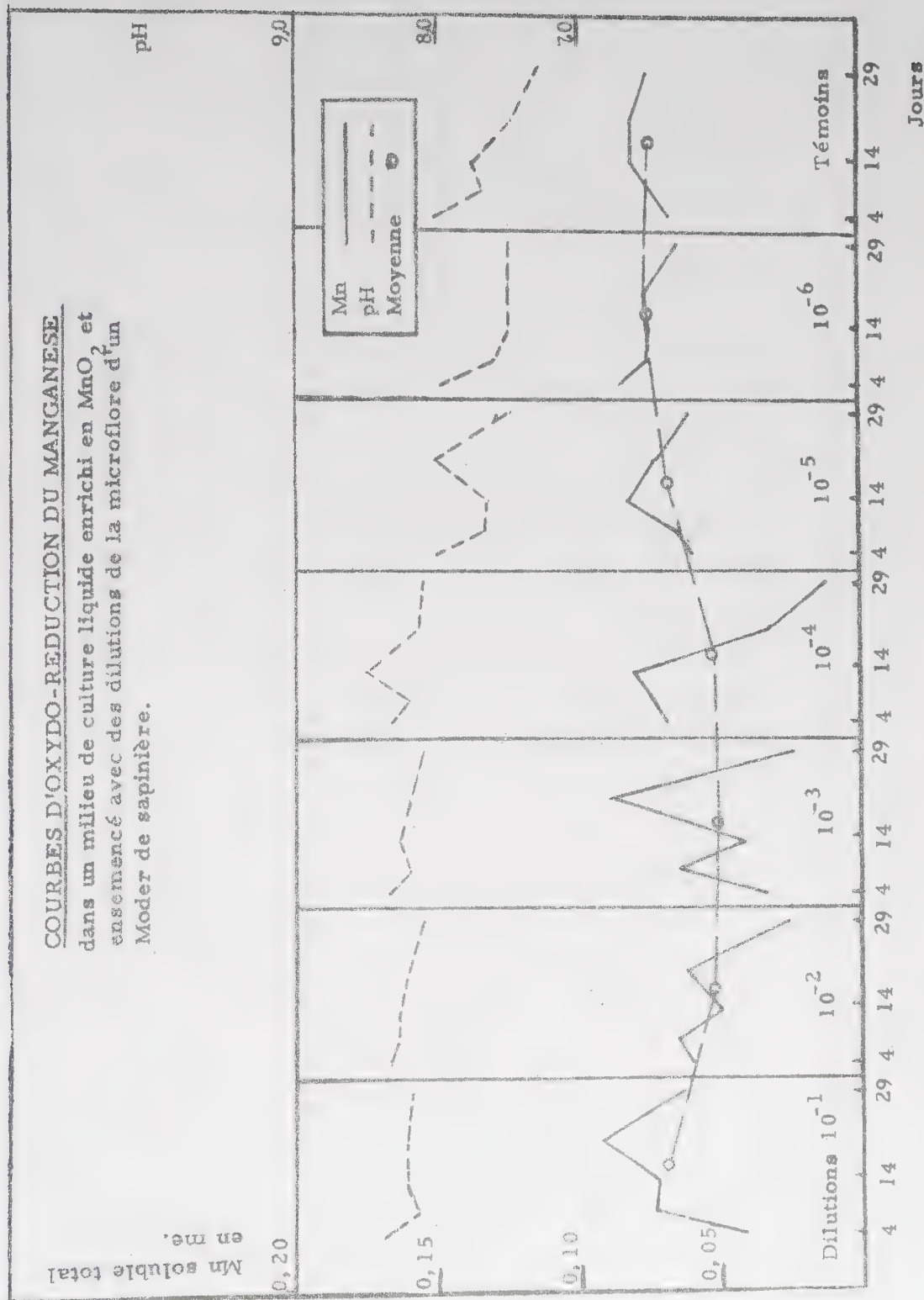
(voir pages suivantes)

Graphique II-1



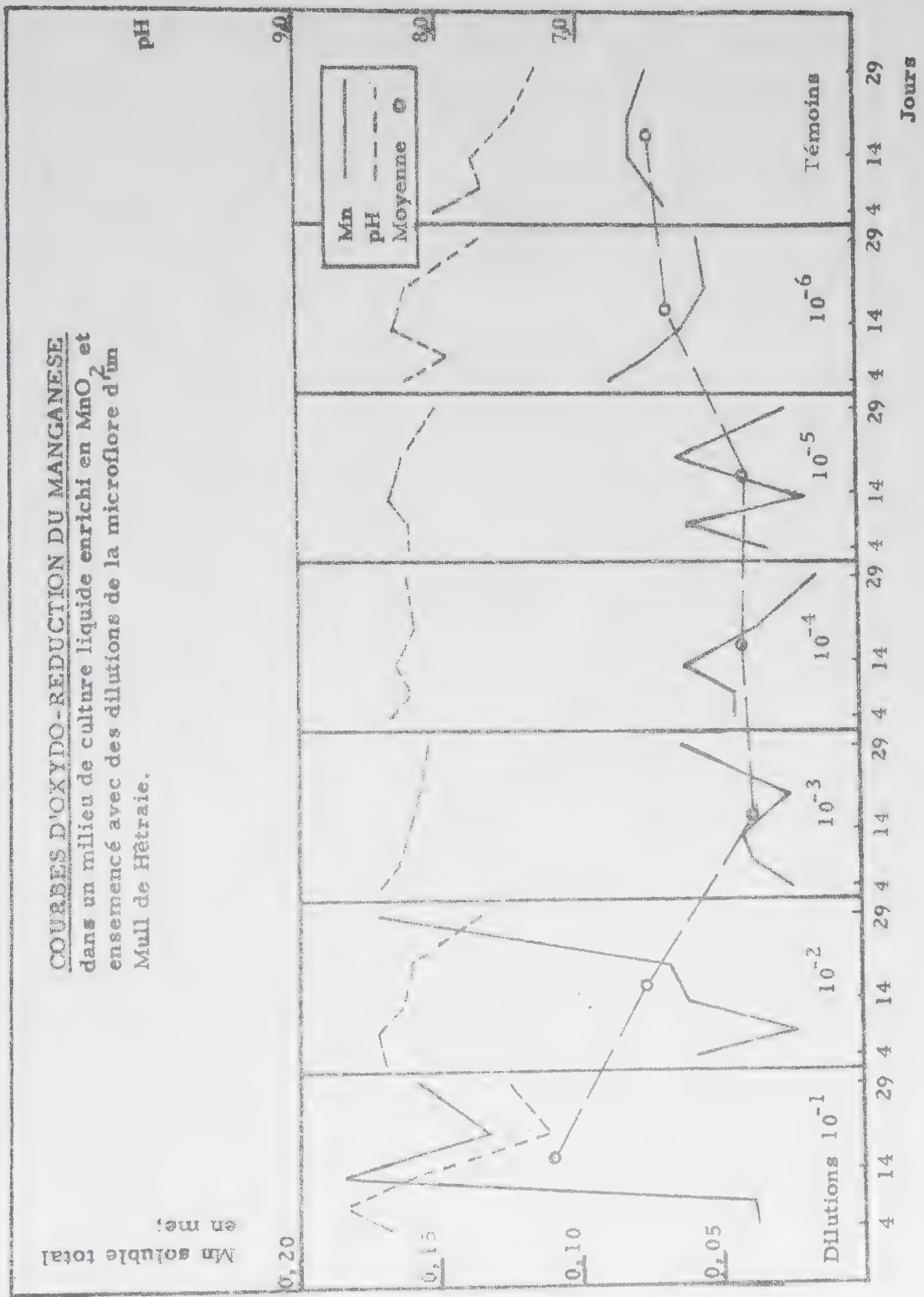
Graphique II-2

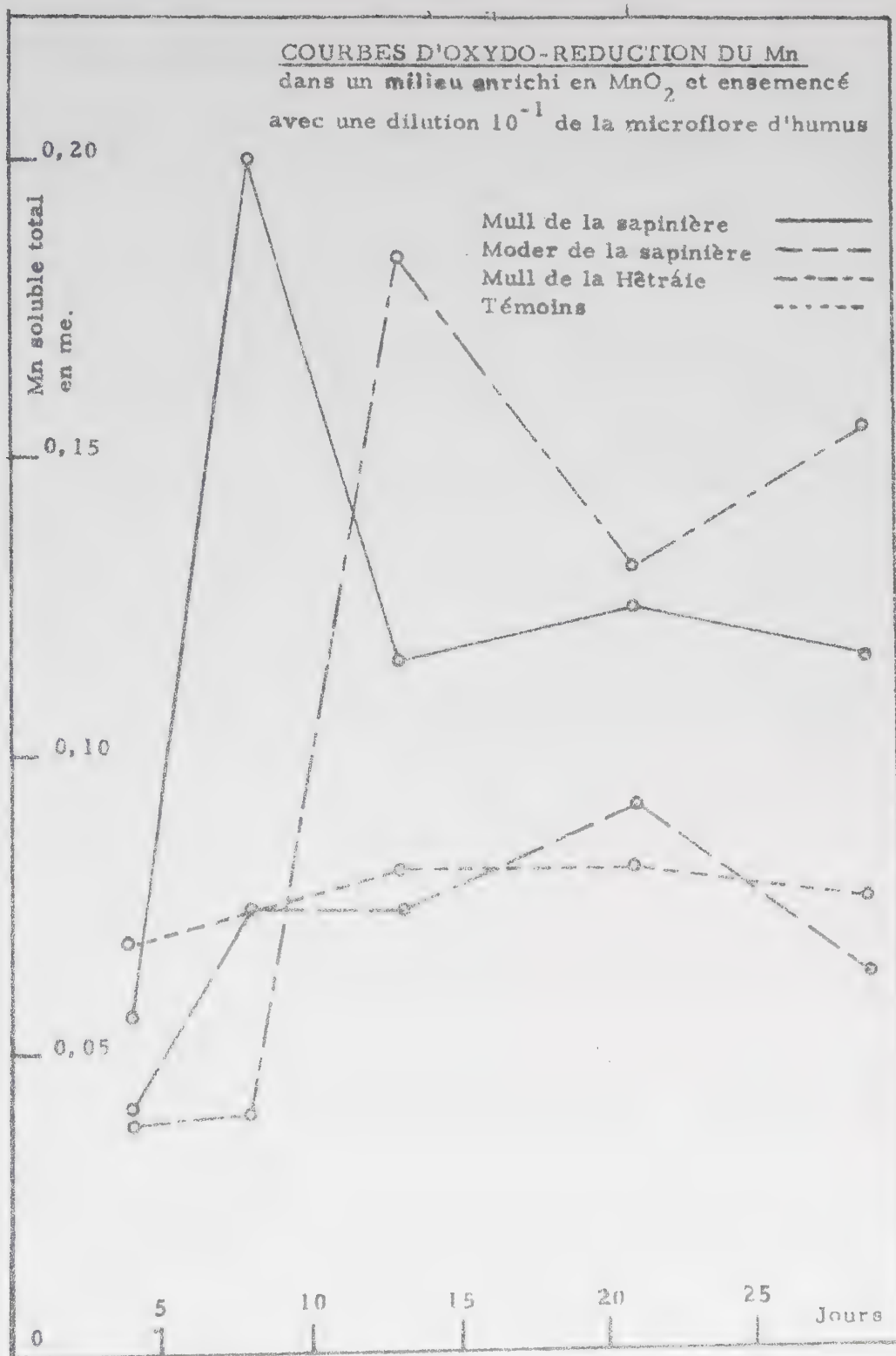
COURBES D'OXYDO-REDUCTION DU MANGANESE
dans un milieu de culture liquide enrichi en MnO_2 et
ensemencé avec des dilutions de la microfloire d'un
Moder de sapinière.



Graphique II-3

COURBES D'OXYDO-REDUCTION DU MANGANESE
dans un milieu de culture liquide enrichi en MnO_2 et
ensemencé avec des dilutions de la microflore d'un
Mull de Hêtreale.





I22 - CONCLUSIONS -

I° - Signalons d'abord des facteurs qui ont pu influencer les résultats et dont nous devons tenir compte dans l'interprétation de ceux-ci pour les trois milieux expérimentés :

a) le passage à l'autoclave des milieux a provoqué une solubilisation partielle du MnO_2 et aussi du citrate de calcium ; ce dernier étant responsable de la remontée du pH entre 7,5 à 8,0.

b) Le séjour en chambre froide ($4^{\circ} C$) après incubation des milieux utilisés pour les déterminations à 8 jours et 13 jours pour ralentir l'action de la microflore, les déterminations ne pouvant être faites immédiatement.

c) Dû au manque de répétitions des dilutions pour chaque détermination dans le temps du Mn soluble, nous ne pouvons être absolument certain du phénomène observé à un temps donné.

d) L'influence sur le phénomène d'oxydo-réduction du Mn par les acides humiques introduites avec l'inoculum, surtout pour les dilutions 10^{-1} et 10^{-2} n'est pas exclue.

e) Signalons aussi l'influence des facteurs de croissance (tels que acides aminés, etc..) apportés dans les milieux par les inoculums, en particulier 10^{-1} et 10^{-2} , et aussi le déséquilibre de la microflore dû à la sélectivité des dilutions.

2° - L'enrichissement en MnO_2 avait pour but d'étudier l'action réductrice de la microflore des humus sur le Mn^{4+} s'il y a lieu. L'étude des courbes quel que soit l'humus nous montre que la réduction est aussi accompagnée de phases d'oxydation.

3° - Le phénomène d'oxydo-réduction que nous observons est biologique parce que (1) il n'y a aucune relation avec le pH (2) il varie en proportion suivant les dilutions et (3) les dilutions 10^{-1} à 10^{-6} se différencient du témoin.

4° - Suivant que l'on passe de la dilution 10^{-1} à 10^{-6} nous constatons que le niveau d'oscillation des courbes se rapproche de celui de la courbe témoin ; d'où influence de moins en moins grande de la microflore de la dilution 10^{-1} à 10^{-6} .

5° - Les dilutions dans une certaine mesure équivalent à une étude dans le temps pour une même dilution. Ainsi, la détermination à 4 jours pour le mull de sapinière et dilution 10^{-1} se trouve dans une phase de réduction car nous voyons que les dilutions 10^{-2} et 10^{-3} passent par un minimum à 13 jours, tandis que 10^{-4} et 10^{-5} s'approchent de ce minimum à 29 jours. Donc nous observons un certain décalage des phases oxydantes et réductrices dû à une différence dans les populations occupant les milieux. Ces populations tendant vers un nombre égal dans un temps plus ou moins long dépendant de la dilution du départ.

6° - A cause de la présence au départ de Mn soluble dans les milieux en concentration variable et aussi de l'existence d'un équilibre entre l'action oxydante et réductrice de la microflore, nous croyons qu'il est préférable de comparer les moyennes des cinq déterminations dans le temps pour chacune des dilutions pour établir une différence entre les humus :

a) Il est intéressant en premier lieu de comparer les moyennes des dilutions pour chacun des humus. Ainsi, pour les humus Mull, nous constatons que la dilution 10^{-3} se trouve au minimum et que relativement aux témoins, les dilutions 10^{-1} et 10^{-2} sont dans une phase générale réductrice tandis que les dilutions 10^{-4} , 10^{-5} et 10^{-6} sont dans une phase générale oxydante. Par contre, pour l'humus Moder, seule la dilution 10^{-1} se trouverait en phase réductrice.

b) Donc les dilutions 10^{-1} et 10^{-2} sont les plus intéressantes sur le plan comparaison entre humus. Nous nous sommes arrêtés à la dilution 10^{-1} qui semble avoir atteint un certain stade d'équilibre et montre une différenciation plus nette entre les humus.

Si nous faisons les différences entre les moyennes du Mn soluble des dilutions 10^{-1} des humus et la moyenne des témoins nous avons :

TABLEAU II - 5 Quantité de Mn solubilisé dans les inoculum 10^{-1}
par rapport aux témoins -

Humus	Dilutions	Moyennes du Mn soluble me	Différence par rapport au témoin -
	Témoins	0,075	
Mull de sapinière	10^{-1}	0,120	+ 0,045
Moder de "	10^{-1}	0,069	- 0,006
Mull de hêtraie	10^{-1}	0,110	+ 0,035

D'après ces différences entre les moyennes et les courbes, nous pouvons conclure que (1) la microflore des humus Mull réduit le manganèse (Mn^{4+}) en une forme soluble soit Mn^{2+} , $[Mn^{3+} \cdot (CHO)]$ (complexes organiques solubles) et que la réduction est supérieure à l'oxydation étant donné l'accroissement du Mn soluble dans le milieu comparé aux témoins (2) tandis que la microflore du Moder aurait une action oxydante supérieure à l'action réductrice d'où le bilan négatif comparé au témoin (3). Si l'on considère que le dynamisme des microflores oxydantes et réductrices du Mn est le même, nous pouvons affirmer que dans le cas des humus Mull, la population de la microflore réductrice est supérieure à la microflore oxydante et inversement pour l'humus Moder.

7° - D'après l'allure générale des courbes d'oxydo-réduction du Mn et des pH, notons la similitude entre les humus Mull et la différenciation d'avec l'humus Moder.

8° - Il semble qu'au début de l'incubation par exemple à 4 jours, les pH élevés sont liés à une activité microbiologique. Ceux-ci diminuant avec

l'accroissement de la dilution jusqu'à se rapprocher du milieu témoin. Ceci peut s'expliquer par une libération du calcium à partir du citrate de calcium.

Par contre, on note que pour les dilutions à 10^{-1} en particulier que le pH décroît dans le temps, ce qui peut s'expliquer par la formation d'acide carbonique à partir du CO_2 libéré par la respiration ou nutrition des microorganismes.

9° - La réduction par la matière organique soluble provenant du citrate est à exclure, puisqu'il y a des différences entre les dilutions de la microflore, les milieux étant exactement les mêmes au début.

Donc la réduction s'est faite par voie biologique. Ce phénomène a déjà été observé par GARREY et BARBER (1952) ainsi que VAVRA et FREDERICK (1952) pour ne mentionner qu'eux. Certains auteurs admettent qu'en présence d'une substance organique oxydable, un grand nombre de bactéries réduisent les oxydes manganiques selon :



I23 - Milieu de culture enrichi en Mn SO₄ -A - Evolution du pH des milieux -TABLEAU II - 6 pH's du milieu enrichi en Mn SO₄ -

Humus	Dilutions	D e t e r m i n a t i o n s				
		4 jours	8 jours	13 jours	21 jours	29 jours
Mull de sapinière	IO-1	7,10	8,38	7,42	7,20	7,51
	IO-2	7,13	7,83	7,50	7,68	7,64
	IO-3	7,14	7,69	7,40	7,68	7,72
	IO-4	6,91	7,61	7,21	7,33	7,34
	IO-5	6,89	7,00	7,00	7,26	7,32
	IO-6	6,88	7,18	6,92	7,35	7,38
Moder de sapinière	IO-1	7,13	7,74	7,55	7,70	7,61
	IO-2	7,18	7,41	7,40	7,64	7,81
	IO-3	7,15	7,48	7,32	7,70	7,73
	IO-4	7,12	7,07	7,48	7,32	7,40
	IO-5	6,90	6,99	7,10	7,29	7,36
	IO-6	6,90	7,29	7,15	7,24	7,31
Mull de Hêtraie	IO-1	7,17	7,92	7,58	7,21	7,32
	IO-2	7,13	7,61	7,61	7,63	7,63
	IO-3	7,00	7,53	7,57	7,68	7,62
	IO-4	6,90	7,77	7,00	7,63	7,82
	IO-5	6,95	7,22	6,99	7,41	7,48
	IO-6	6,90	7,00	7,05	7,36	7,54
	T	6,89	7,07	7,05	7,18	7,45

T : Témoins

B - Evolution du Mn soluble des milieux -TABLEAU II - 7 Mn soluble total en mg dans le milieu enrichi en Mn SO₄ -

Humus	Dilutions	D é t e r m i n a t i o n s					
		4jours	8jours	13 jours	21 jours	29 jours	Moyennes
Mull de sapinière	10 ⁻¹	0,560	0,475	0,431	0,350	0,282	0,420
	10 ⁻²	0,554	0,522	0,572	0,566	0,506	0,544
	10 ⁻³	0,550	0,520	0,571	0,556	0,552	0,550
	10 ⁻⁴	0,572	0,541	0,552	0,562	0,538	0,553
	10 ⁻⁵	0,562	0,530	0,563	0,562	0,550	0,553
	10 ⁻⁶	0,562	0,520	0,551	0,564	0,540	0,547
Moder de sapinière	10 ⁻¹	0,568	0,538	0,559	0,542	0,500	0,541
	10 ⁻²	0,564	0,536	0,570	0,564	0,552	0,567
	10 ⁻³	0,566	0,529	0,579	0,548	0,506	0,546
	10 ⁻⁴	0,574	0,552	0,579	0,546	0,544	0,559
	10 ⁻⁵	0,578	0,539	0,570	0,550	0,550	0,557
	10 ⁻⁶	0,560	0,496	0,563	0,546	0,562	0,545
Mull de Hêtraie	10 ⁻¹	0,566	0,539	0,426	0,172	0,266	0,294
	10 ⁻²	0,594	0,593	0,559	0,540	0,562	0,560
	10 ⁻³	0,572	0,548	0,563	0,534	0,516	0,553
	10 ⁻⁴	0,530	0,541	0,559	0,556	0,532	0,544
	10 ⁻⁵	0,562	0,539	0,568	0,552	0,542	0,553
	10 ⁻⁶	0,562	0,538	0,561	0,562	0,532	0,551
	T	0,566	0,571	0,580	0,526	0,543	0,557

T : Témoins

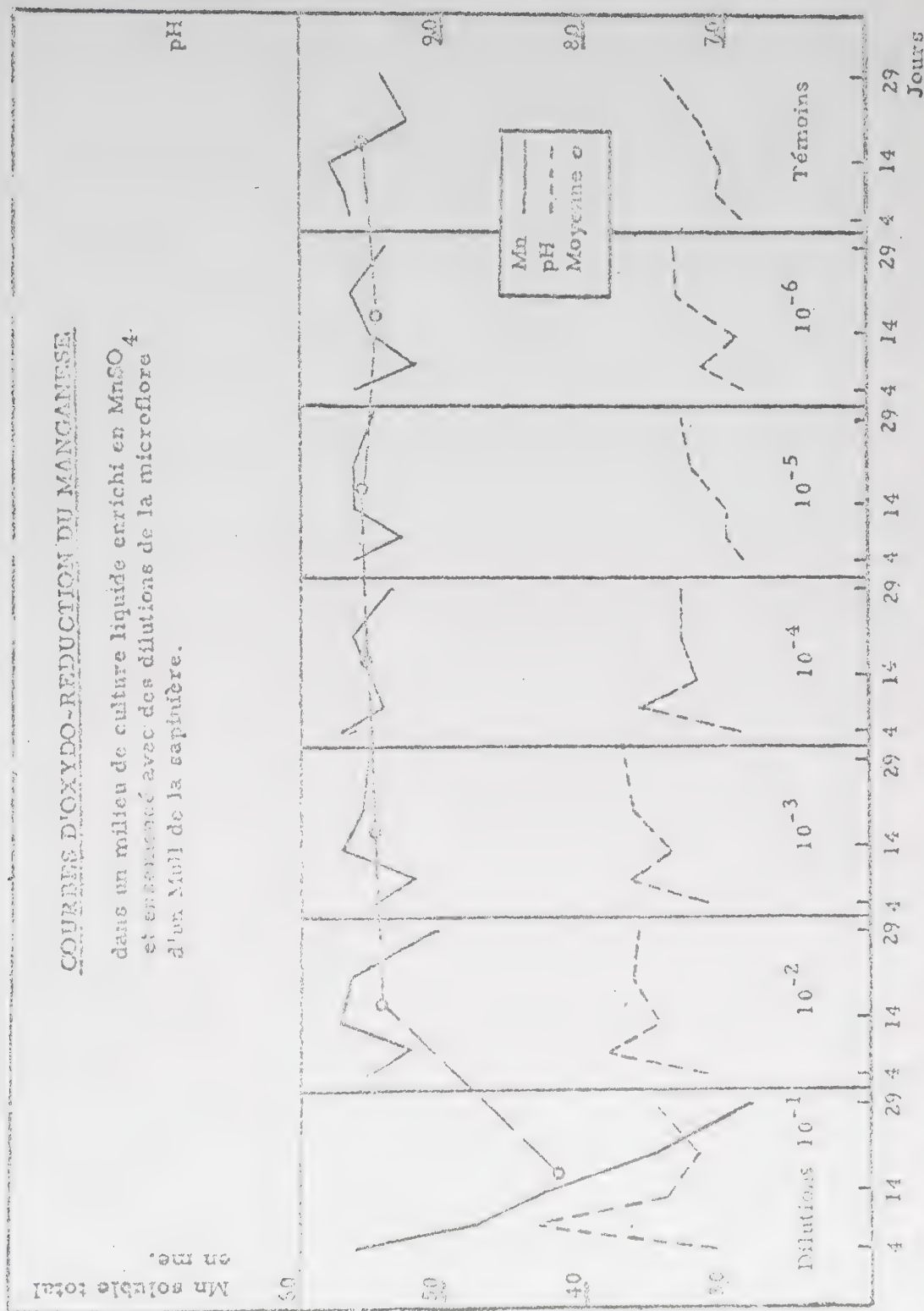
C - Courbes d'oxydo-réduction et de pH's -

(voir pages suivantes)

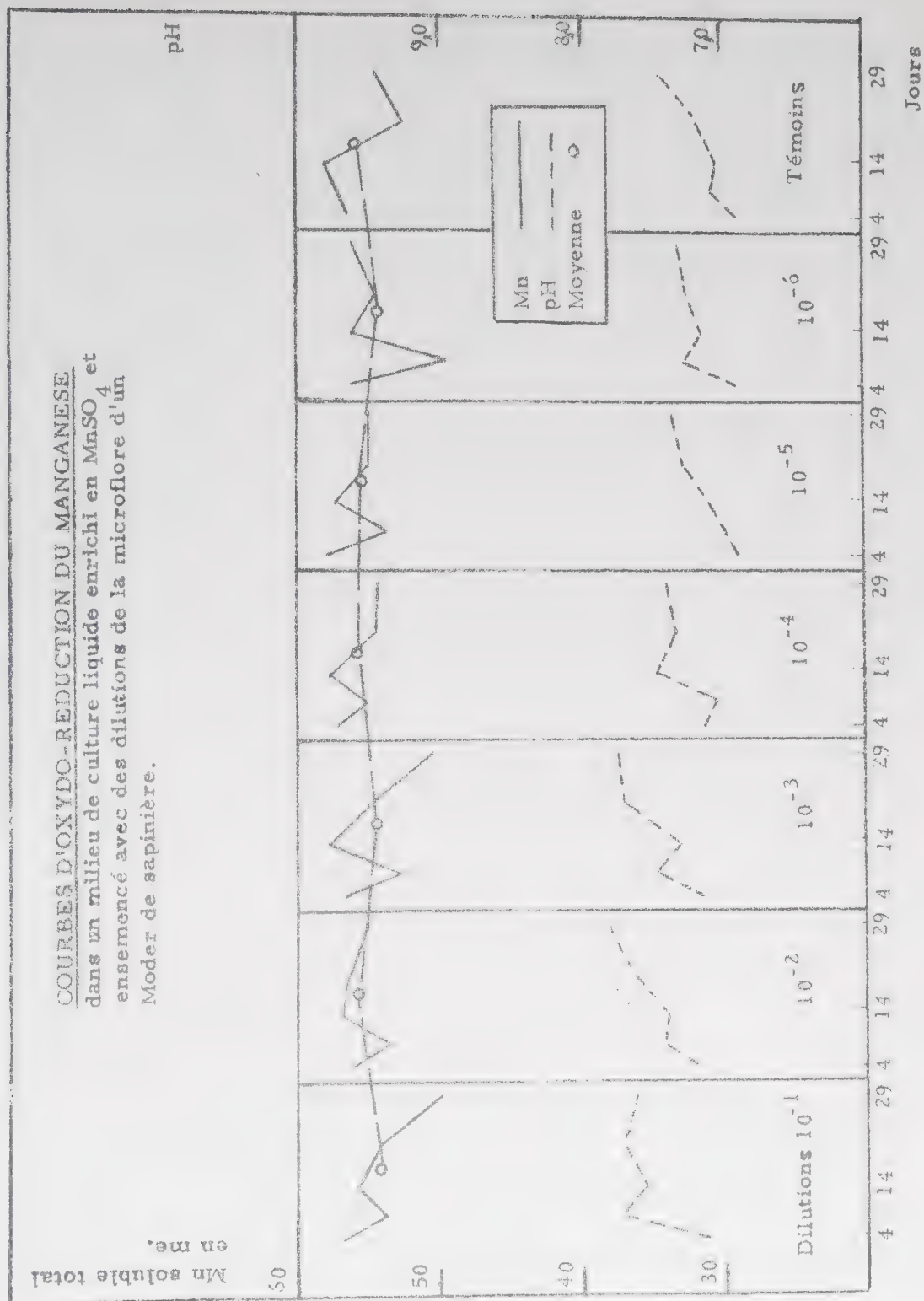
Graphique II-5

COURBES D'OXYDO-REDUCTION DU MANGANESE

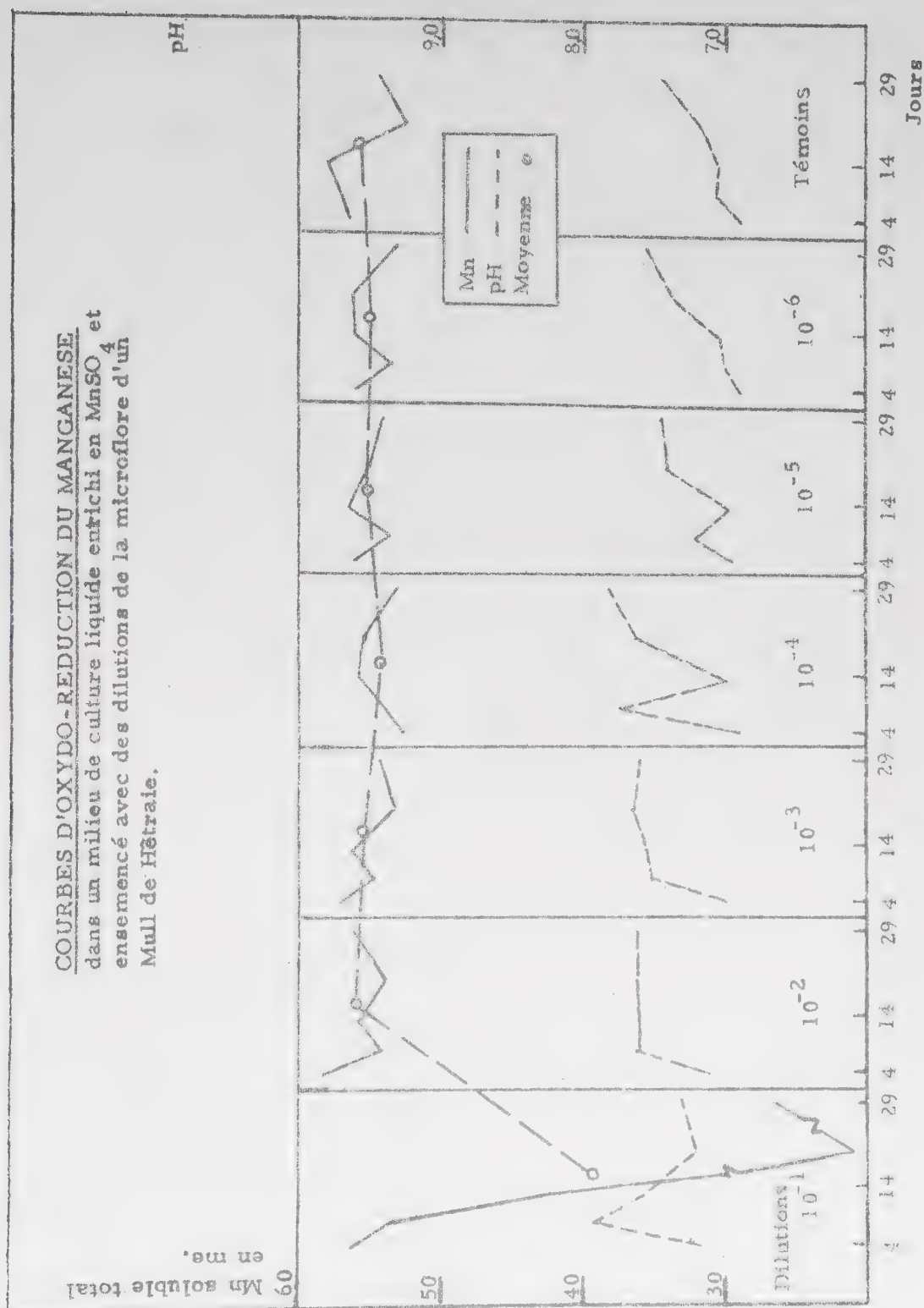
dans un milieu de culture liquide enrichi en $MnSO_4$ et ensémençé avec des dilutions de la microflore d'un Mill de la sapinère.



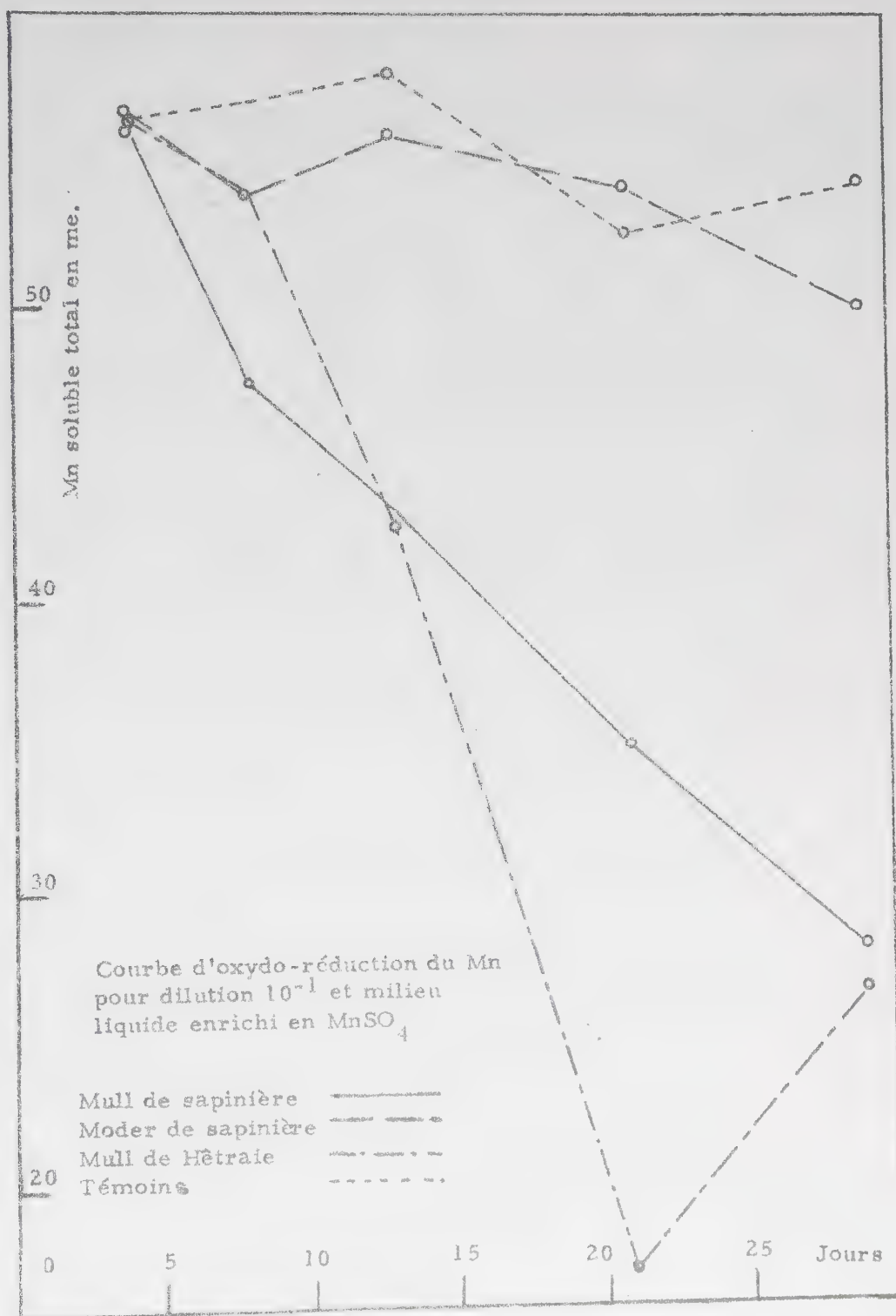
Graphique II-6



Graphique II-7



Graphique II-8



124 - CONCLUSIONS :

1° - Les variations de la courbe témoin du Mn soluble excluent toute conclusion sur les dilutions 10^{-2} à 10^{-6} . Cependant, les courbes du pH ainsi que les moyennes en Mn soluble des dilutions nous permettent de soupçonner une activité microbiologique qui se traduirait par une oxydation du Mn soluble chez les dilutions 10^{-2} à 10^{-6} en général.

2° - La différenciation nette de la dilution 10^{-1} montre que l'oxydation du Mn soluble observée est d'origine biologique.

3° - Si nous comparons le minimum des courbes du Mn soluble des dilutions 10^{-1} de chacun des humus, nous constatons que l'humus Mull de Hêtraie possède un pouvoir oxydant supérieur aux deux autres humus. Une comparaison des moyennes le démontre.

TABLEAU II - 8 Quantité de Mn insolubilisé (oxydé) dans les inoculums
 10^{-1} par rapport aux témoins -

Humus	Dilutions	Moyennes du Mn soluble me	Différences T - 10^{-1}
Mull de sapin.	T	0,557	
	10^{-1}	0,420	-0,137
Moder "	10^{-1}	0,541	-0,016
Mull Hêtraie	10^{-1}	0,394	-0,163

Nous voyons que les pouvoirs oxydants de la microflore du Mull de Hêtraie et Mull de sapinière sont respectivement de 10 et 9 fois supérieurs à celui de la microflore du Moder pour une même période.

I25 - Milieu de culture enrichi en $MnO_2 + MnSO_4$ -A - Evolution du pH des milieux -TABLEAU II - 9 pH's du milieu enrichi en $MnO_2 + MnSO_4$ -

Humus	Dilutions	D é t e r m i n a t i o n s				
		4 jours	8 jours	13 jours	21 jours	29 jours
Mull de sapinière	10^{-1}	7,68	8,00	7,48	7,68	7,58
	10^{-2}	7,51	7,62	7,60	7,74	7,79
	10^{-3}	7,49	7,71	7,71	7,81	7,75
	10^{-4}	7,50	7,62	7,75	8,00	7,73
	10^{-5}	7,46	7,50	7,72	7,81	7,79
	10^{-6}	7,47	7,49	7,88	7,79	7,79
Moder de sapinière	10^{-1}	7,51	7,78	7,79	7,62	7,70
	10^{-2}	7,54	7,75	7,70	7,73	7,78
	10^{-3}	7,54	7,51	7,52	8,01	7,78
	10^{-4}	7,49	7,65	7,59	7,98	7,82
	10^{-5}	7,50	7,50	7,59	7,69	7,81
	10^{-6}	7,49	7,41	7,52	7,83	7,81
Mull de Hêtraie	10^{-1}	7,58	7,70	7,72	7,70	7,67
	10^{-2}	7,50	7,81	7,60	7,76	7,78
	10^{-3}	7,53	7,81	7,55	8,00	7,73
	10^{-4}	7,52	7,72	7,58	7,92	7,78
	10^{-5}	7,49	7,60	7,71	7,72	7,80
	10^{-6}	7,50	7,52	7,59	7,87	7,81
	T	7,51	7,50	7,82	7,91	7,81

T : Témoins

B - Evolution du Mn soluble des milieux -TABLEAU II - IO Mn soluble total en me dansle milieu enrichi en MnO₂+ MnSO₄

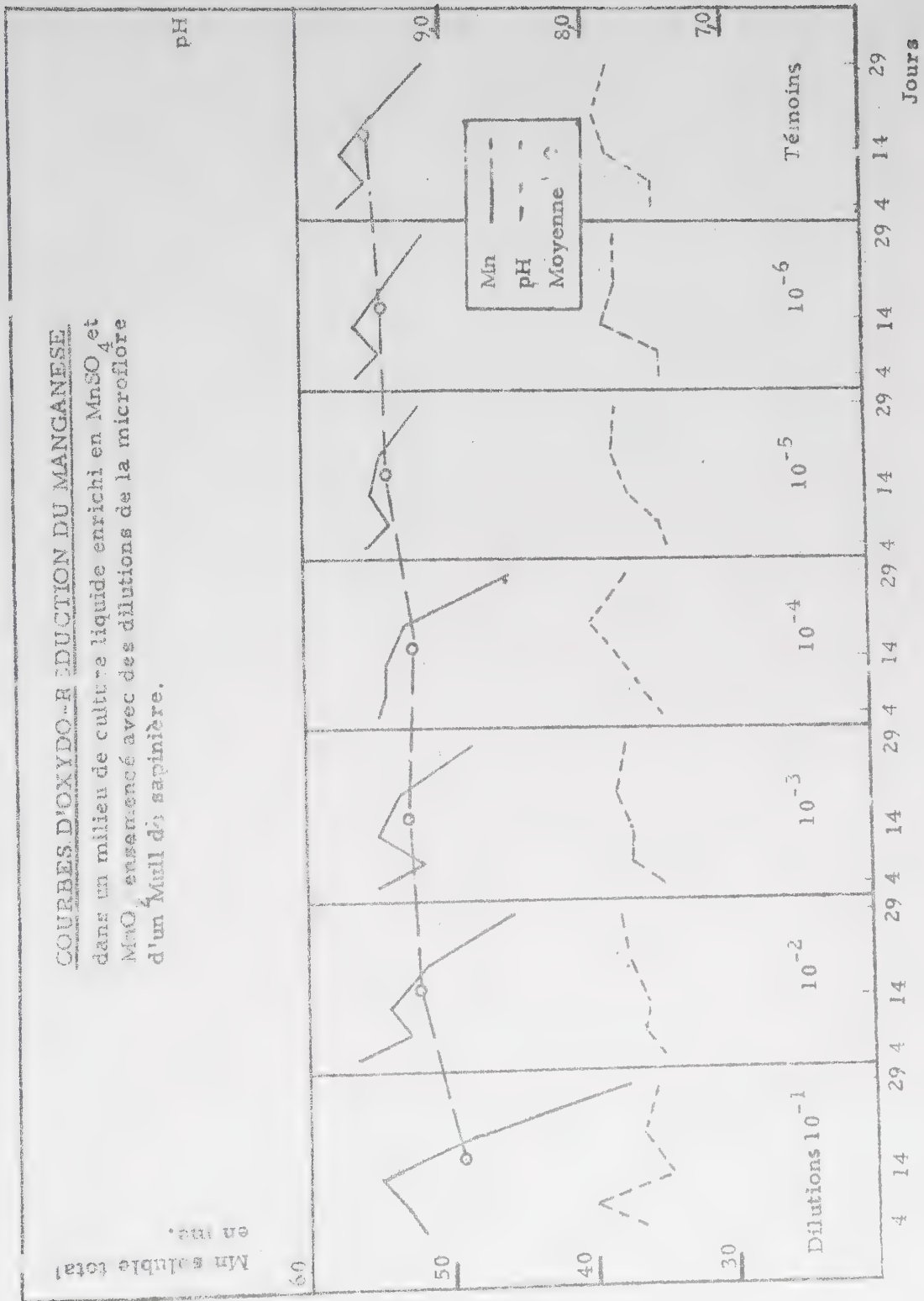
Humus	Dilutions	Déterminations					
		4 jours	8 jours	13 jours	21 jours	29 jours	Moyennes
Mull de sapinière	IO-1	0,520	0,532	0,552	0,484	0,376	0,493
	IO-2	0,566	0,529	0,543	0,516	0,456	0,522
	IO-3	0,552	0,519	0,546	0,534	0,484	0,527
	IO-4	0,550	0,545	0,544	0,529	0,456	0,525
	IO-5	0,556	0,540	0,551	0,546	0,513	0,542
	IO-6	0,562	0,546	0,562	0,540	0,516	0,545
Moder de sapinière	IO-1	0,580	0,540	0,544	0,456	0,412	0,506
	IO-2	0,562	0,530	0,546	0,516	0,452	0,521
	IO-3	0,564	0,532	0,558	0,526	0,446	0,527
	IO-4	0,532	0,545	0,553	0,528	0,514	0,534
	IO-5	0,540	0,554	0,551	0,530	0,494	0,531
	IO-6	0,564	0,557	0,552	0,530	0,514	0,543
Mull de Hêtraie	IO-1	0,556	0,529	0,538	0,510	0,414	0,509
	IO-2	0,554	0,517	0,543	0,528	0,472	0,523
	IO-3	0,540	0,530	.	0,522	0,470	0,515
	IO-4	0,544	0,538	0,552	0,510	0,456	0,520
	IO-5	0,550	0,522	0,546	0,524	0,488	0,526
	IO-6	0,542	0,530	0,561	0,526	0,488	0,529
	T	0,572	0,554	0,571	0,546	0,512	0,551

T : Témoins

C - Courbes d'oxydo-réduction et des pH's -

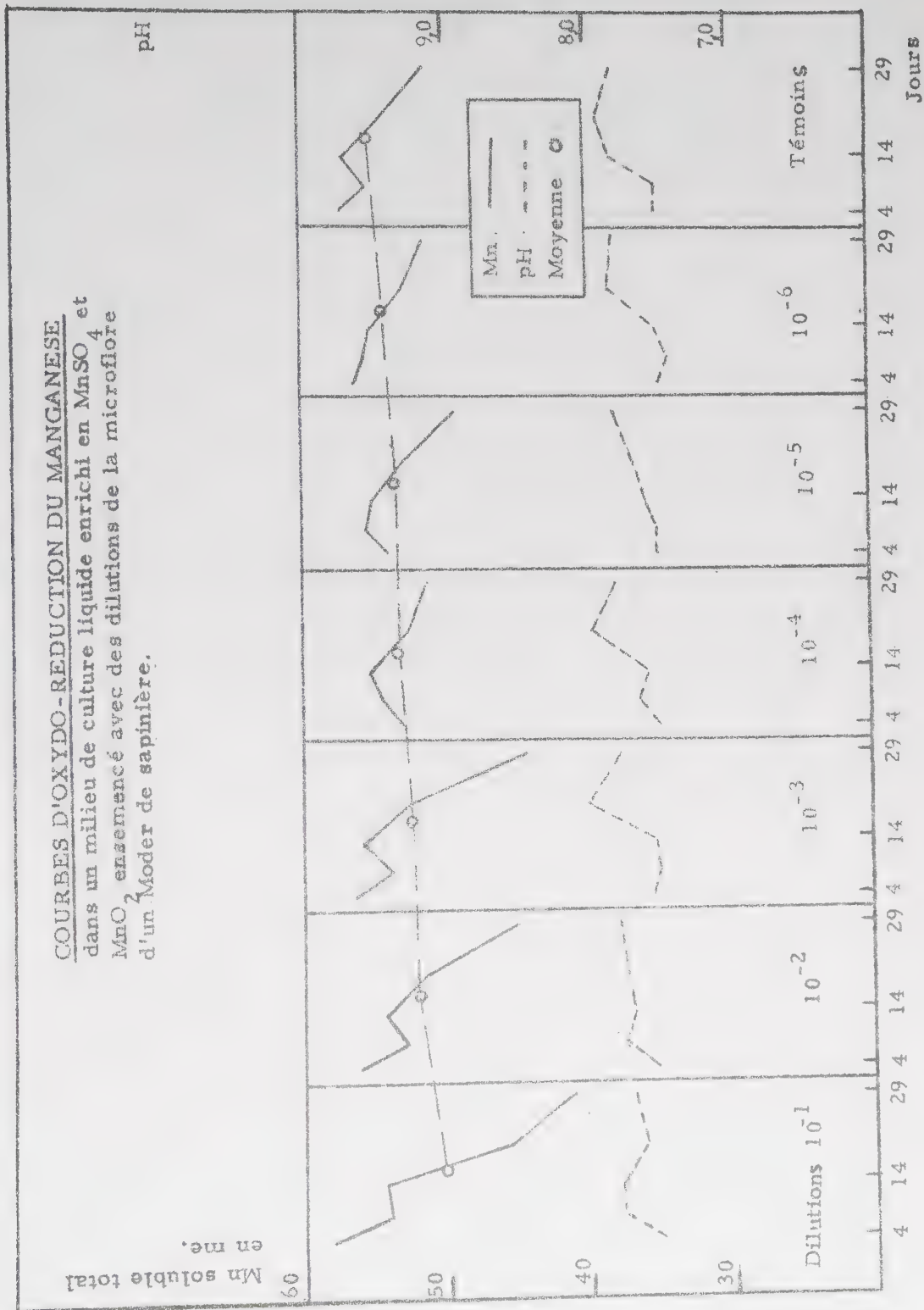
(voir pages suivantes)

Graphique II-9

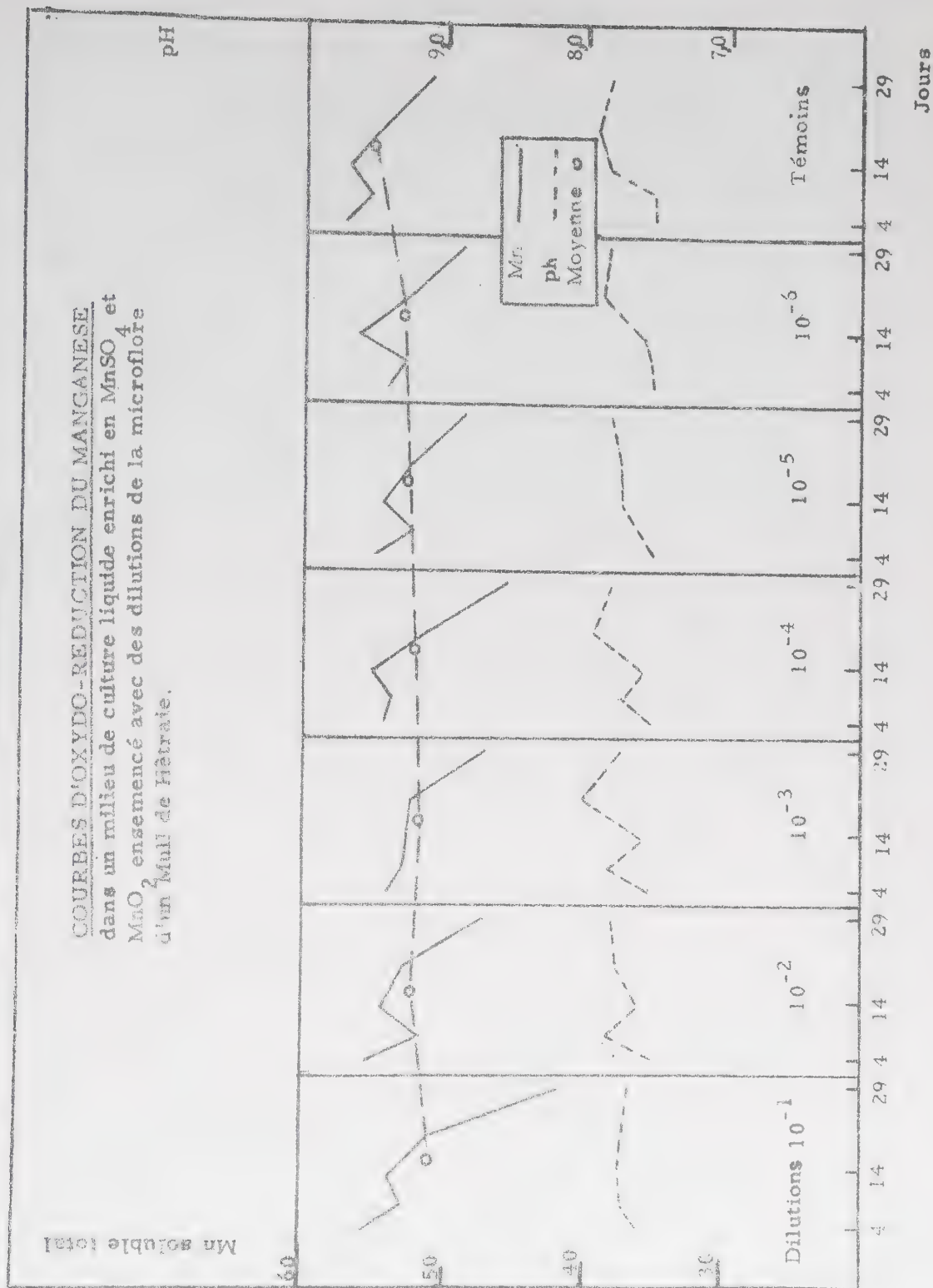


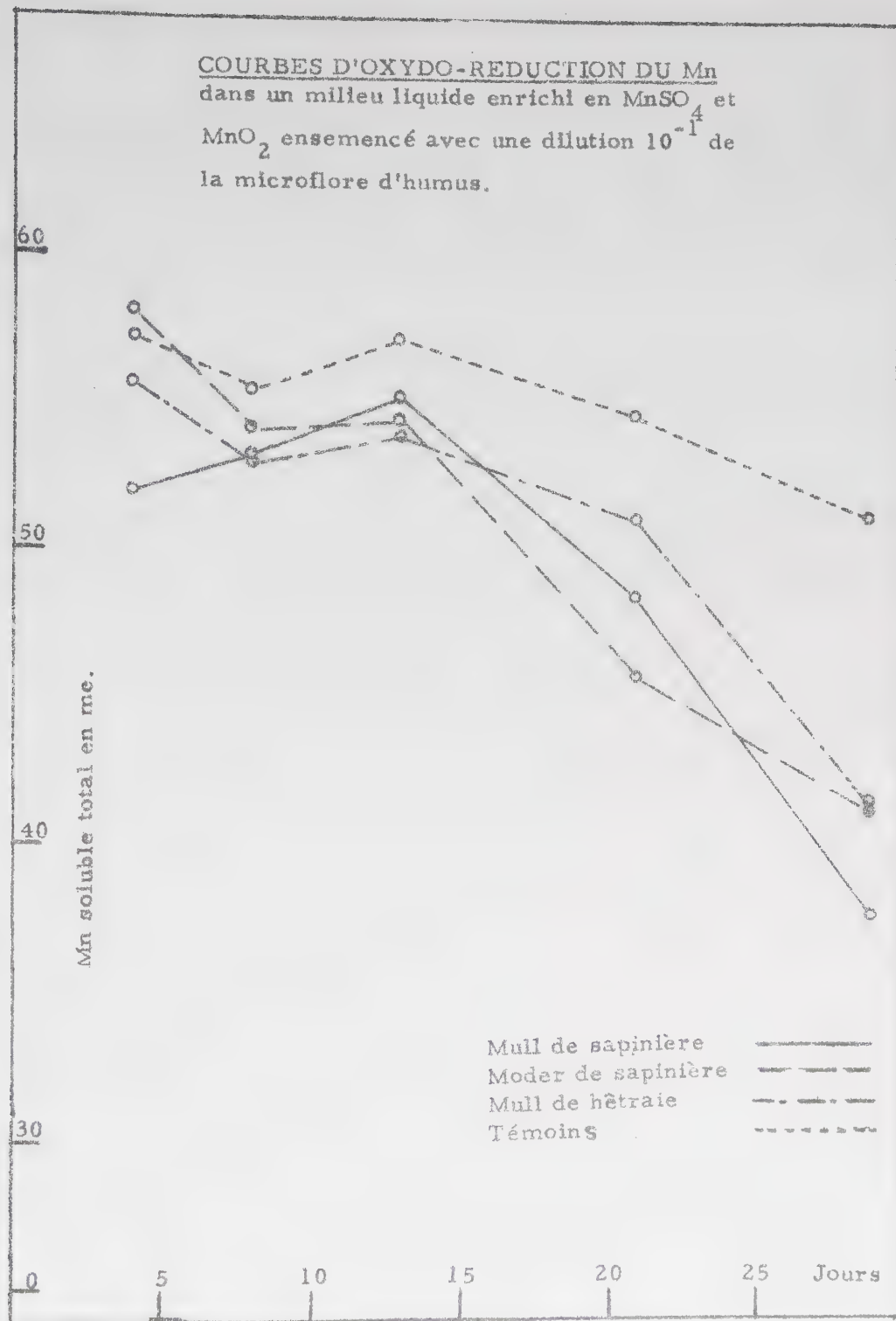
Graphique II-10

COURBES D'OXYDO-REDUCTION DU MANGANESE
dans un milieu de culture liquide enrichi en MnSO_4 et
 MnO_2 ensemencé avec des dilutions de la microflore
d'un Moder de sapinière.



Graphique II-11





126 - CONCLUSIONS -

1° - L'examen de la variation des courbes du Mn soluble nous montre que le phénomène d'oxydation même s'il existe chez les Témoins, est plus accentué chez les dilutions et décroît lorsque l'on passe de la dilution 10^{-1} à 10^{-6} . Donc chez les dilutions, même s'il y a une oxydation ou insolubilisation du Mn d'ordre chimique comme le laisse croire les Témoins, il s'y ajoute une action biologique. La formation d'un complexe hydraté $(MnO)_x$, $(MnO_2)_y$, $(H_2O)_z$ peut avoir contribué chez les Témoins à l'abaissement du taux de Mn soluble (SHERRAN et FUTIMOTO).

2° - Une comparaison entre les différences obtenues avec les moyennes des dilutions 10^{-1} en Mn soluble et celles des Témoins pour les trois milieux nous permettra de mesurer les pouvoirs réducteurs et oxydants des microflores des humus.

TABLEAU II - II Différence entre les dilutions 10^{-1} et les Témoins
montrant le pouvoir oxydant en milieu enrichi en
MnO₂ + Mn SO₄

Humus	Dilutions	Milieu + MnO ₂		Milieu + MnSO ₄		Milieu + MnO ₂ et MnSO ₄		Différences des valeurs absolues D ₂ - D ₃
		M me	D1 me	M me	D2 me	M me	D3 me	
Mull de sapinière	10^{-1}	0,120	0,045	0,420	-0,137	0,493	-0,058	0,079
Moder de sapinière	10^{-1}	0,069	0,006	0,541	-0,016	0,506	-0,045	-0,029
Mull de Hêtraie	10^{-1}	0,110	0,035	0,394	-0,163	0,509	-0,042	0,121
	T	0,075		0,557		0,551		

M : Moyennes en Mn soluble des dilutions 10^{-1}

D : différences entre moyennes des 10^{-1} et celle des témoins

Le signe + indique une dominance de la réduction tandis que le signe - indique une dominance de l'oxydation.

a) l'oxydation reste dominante dans le milieu enrichi en $MnO_2 + MnSO_4$ quel que soit l'humus.

b) La présence de MnO_2 amoindrit l'effet de l'oxydation car celui-ci est réduit et compense en partie l'oxydation chez les microflores des humus Mull. La différence des valeurs absolues de D2 et D3 ($D_2 - D_3$) nous indique approximativement la quantité de Mn réduit. Si nous comparons ces chiffres avec le Mn réduit en milieu enrichi en MnO_2 , nous constatons que le couplage $MnO_2 + MnSO_4$ accroît le pouvoir réducteur des microflores des humus Mull de 1,8 fois pour le Mull de sapinière et 3,5 fois pour le Mull de hêtraie.

c) Au contraire l'inverse est observé chez la microflore de l'humus Moder où le pouvoir oxydant est accru par la présence du MnO_2 rapprochant ainsi le comportement de la microflore du Moder à celui des Mull.

Ces accroissements du pouvoir réducteur et oxydant respectivement pour les microflores des Mull et Moder pourraient peut être s'expliquer par l'influence du pH. En comparant les courbes de pH pour les trois milieux nous constatons que pour les milieux enrichis en $MnSO_4$ et $MnO_2 + MnSO_4$, les limites de variation du pH sont très comparables ; seul le milieu enrichi en MnO_2 a des limites un peu plus élevées bien que la comparaison pour les dilutions 10^{-1} reste valable.

L'autre facteur pouvant influencer l'augmentation du pouvoir réducteur dans le cas des Mull est la concentration en Mn soluble au départ de l'expérience, celle-ci stimulant l'activité de la microflore oxydante dont les sous-produits de décomposition du citrate de calcium seraient utilisés par la microflore réductrice, d'où l'augmentation du pouvoir réducteur. L'inverse se produirait pour la microflore réductrice dont les sous-produits de décomposition du citrate seraient utilisés par la microflore oxydante.

3° - Notons que la forme oxydée ou précipitée du Mn n'est pas nécessairement du MnO_2 mais peut-être des complexes organiques $Mn^{4+} (HCO)$ ou $Mn^{3+} (HCO)$ ou des oxydes supérieurs du Mn.

4° - Malgré la présence en grande concentration du Mn soluble au départ de l'expérience dans les milieux (c'est à dire 0,551 me = moyenne des témoins ce qui fait environ 1 500 parties par million), l'action réductrice de la microflore existe ce qui laisse croire que certains microorganismes de celle-ci utilisent le Mn^{4+} dans leur physiologie ou comme source d'énergie (catalyseur).

13 - CONCLUSION GENERALE -

Deux grandes conclusions peuvent être dégagées de cette expérience :

1° - Le pouvoir oxydant des microflores des Mull sur le Mn est supérieur en efficacité à celui de la microflore du Moder. Cependant, en présence de MnO_2 et $MnSO_4$ les pouvoirs oxydants des microflores des trois humus sont comparables.

2° - Les microflores des Mull possèdent un pouvoir réducteur du Mn pratiquement dix fois supérieur à celui de la microflore du Moder.

Comme dans les litières le Mn est présent uniquement sous forme réduite (nous le verrons plus loin). Nous pouvons penser que c'est seulement la différence du pouvoir oxydant entre les types d'humus qui importe dans la nature.

Donc nous pouvons croire que le Mn des litières que l'on dit sous forme Mn^{2+} est lentement oxydé par la microflore du Moder et donc susceptible d'être lessivé. Tandis que chez le Mull, le Mn des litières serait rapidement oxydé ralentissant le lessivage possible et remis en circulation par une microflore réductrice.

14 - OBSERVATIONS ANNEXES SUR CE TRAVAIL -

1° - Les milieux contenant du $MnSO_4$ ont pris une coloration brun rouille après stérilisation semblable à celle du citrate de Mn en solution aqueuse. Donc la formation de citrate de Mn à partir du $MnSO_4$ et citrate de calcium est à soupçonner. Fait curieux à noter, la disparition de la coloration suivant l'accroissement de l'oxydation du Mn dans le temps. Par exemple, les dilutions 10^{-1} à 29 jours étaient incolores.

2° - Parallèlement à cette expérience, nous avons essayé d'isoler des colonies de bactéries réduisant le Mn. Pour ce faire, nous avonsensemencé avec la microflore d'un Mull et d'un Moder un milieu gélosé de GERRETSEN remplaçant le $MnSO_4$ par MnO_2 .

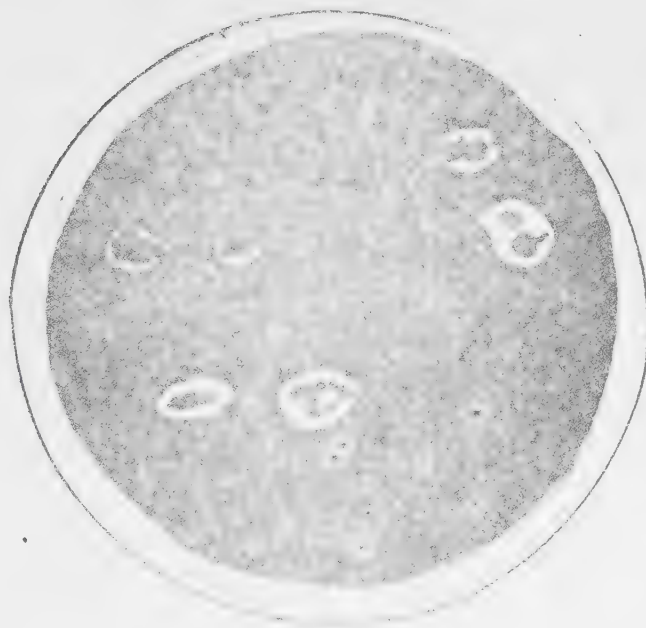
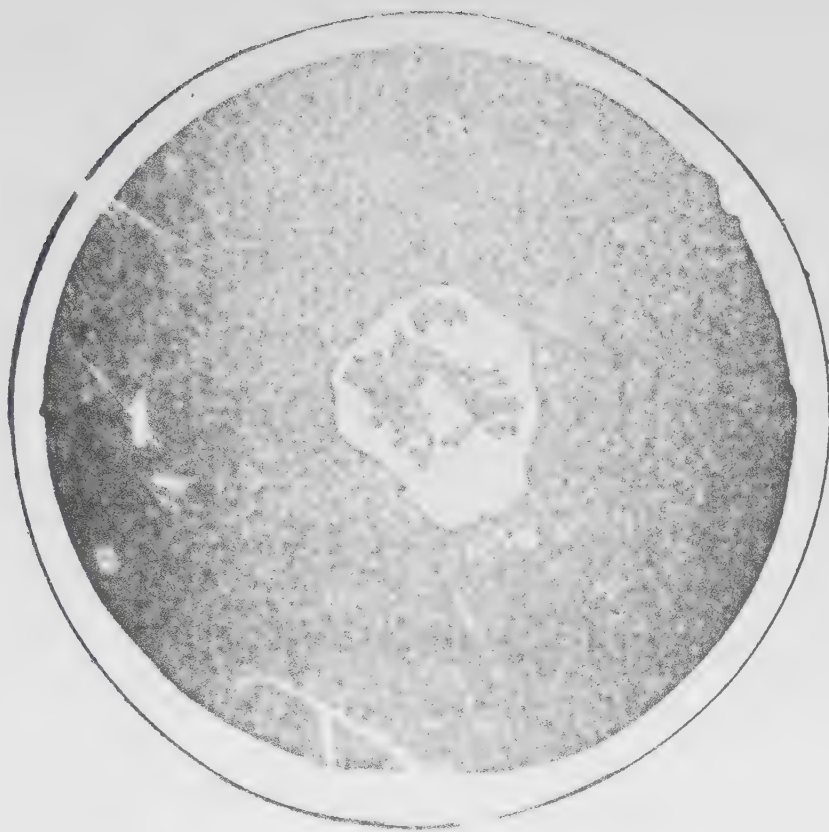
Milieu gélosé : (GERRETSEN modifié) -

Citrate de calcium	20 g
$(NH_4)_2 SO_4$	2 g
MnO_2	2 g
Mg $NH_4 PO_4$	Trace
Gélose	20 g
Eau distillée	1000 ml
pH (avant stérilisation)	5,2

A partir des ensemencements avec dilution de la microflore de 10^{-1} à 10^{-6} , faits dans des boîtes de ROUX, nous avons isolé quelques colonies de bactéries qui ont été repiquées sur des pétris contenant 25 ml du milieu gélosé. Ces colonies ont été isolées pour leur pouvoir réducteur du Mn, celui-ci se manifestant par un halo de dissolution tout autour de la colonie. Le milieu au départ étant gris-pâle opaque, trois semaines après le repiquage, nous avons un halo de dissolution incolore et transparent.

La coloration grise est due au mélange citrate de calcium et MnO_2 non soluble.

Les photographies suivantes montrent bien le résultat obtenu :



CHAPITRE 2

=====

- EXPERIENCE D'INCUBATION D'HUMUS ENRICHI -

2I - INTRODUCTION -

Les incubations en milieux liquides enrichis nous ont permis d'étudier l'action de la microflore sur le manganèse dans des conditions homogènes, c'est à dire sans l'influence du milieu humifère et de la composition des litières.

Les incubations d'humus enrichi par des produits tels que MnO_2 et $MnSO_4$ nous permettra d'étudier l'action de la microflore des humus sur le Mn au sein même de l'humus. Tandis que les incubations enrichies en litières en l'occurrence de Sapin et de Hêtre, permettra de mettre en évidence l'influence des litières.

22 - DESCRIPTION DE L'EXPERIENCE ET TECHNIQUES D'ANALYSE -

22I - Echantillonnage des humus et litières -

Les humus et litières ont été échantillonnés dans la forêt du Ban d'Etival à la fin d'octobre 1964. L'humus Mull ainsi que les litières proviennent d'une sapinière à Hêtre (parcelle n°3). Tandis que l'humus Moder provient d'une sapinière pure située dans la parcelle n° 5.

Les litières ne consistent qu'en des aiguilles de sapin et feuilles de hêtre déjà roussies à cette époque mais non tombées. Les litières ont été échantillonnées dans une sapinière à Mull pour leur richesse en Mn.

Les humus ont été conservés à l'extérieur dans des conditions identiques et humides après tamisage à maille carrée de 1,5 cm².

222 - Préparation des incubations et déroulement de l'expérience -

- Récipient utilisé : boîte en polyéthylène carrée de 10 cm x 10 cm de côté et 6,5 cm de profondeur avec couvercle.

- Poids d'humus par boîte : l'enrichissement se faisant par unité de volume parce que la distribution de la microflore se fait dans l'espace et non suivant la masse nous avons mis un volume égal d'humus dans chaque boîte correspondant à 250 g humide (27,09 %H) d'humus Mull et 150 g humide (42,47 % H) d'humus Moder soit approximativement 182,27 g et 86,29 g séchés à 105° C.

Les humus ont été au préalable tamisés par un treillis à mailles carrées de 1,5 cm² de manière à conserver la structure des humus.

- L'enrichissement : 25 g de litière, 600 mg de MnSO₄ - H₂O et 300 mg de MnO₂ ont été incorporés aux humus avec quatre répétitions par traitement. Deux répétitions étaient gardées à environ 120 % d'humidité équivalente (120 % H.E.) tandis que les deux autres subissaient un régime d'hygroperiodisme.

- Conditions d'incubation

Température - 28° C

Aération : le couvercle des boîtes des incubations gardées à 120 % H.E. était entrebaillé de sorte à laisser une circulation d'air. Tandis que celles subissant l'hygroperiodisme étaient sans couvercle.

Humidité : les échantillons à 120 % H.E. étaient réhumectés toutes les semaines à l'aide d'un pulvérisateur. Connaissant le poids total (boîte + mélange à 120 % H.E.) des incubations, il suffisait par une pesée hebdomadaire d'ajouter la perte de poids en eau distillée. Les variations ainsi enregistrées étaient entre 120 % à 110 % de l'humidité équivalente.

Les échantillons subissant l'hygroperiodisme étaient desséchés à l'air et ramenés à 120 % H.E. toutes les quatre ou cinq semaines. Ils ont subi ainsi quatre alternances enregistrant des variations de l'ordre de 120 % H.E. à 2 ou 5 % d'humidité par rapport au poids du mélange sec (voir les additions d'eau distillée successives à la page suivante).

- Période d'incubation : 121 jours.

TABLEAU II-12 - Les additions d'eau distillée pour ramener les mélanges à 120% H.E.

Mélanges	N°	R. H.	Poids total au départ g	ml d'eau distillée																
				décembre 1954				janvier 1955				février 1955				mars 1955		avril 1955		
				3	15	21	28	5	15	25	1	8	19	27	10	20	29	5	13	21
Moder + Lit. Sapin	1	120% HE	2,81	49	5,0	5,0	5,0	12,5	7,0	2,8	2,2	4,0	10	1,4	4,0	5,4	7,4	5,4	2,7	2,1
	2	120% HE	2,79	49	5,5	4,0	3,0	4,5	10,2	0,2	2,5	4,0	8	2,1	4,5	5,5	4,5	4,5	3,3	1,9
	3	Hyg. pér	2,80	49				91,1					98,8					99,6		
	4	"	2,79	49				90,0					107,4					105,6		
Moder + Lit. Pêtre	5	120% HE	2,80	49	5,0	5,0	4,0	7,2	5,5	2,4	1,9	4,1	8,8	2,9	4,5	4,5	4,7	4,0	5,0	1,9
	6	120% HE	2,80	49	5,0	5,0	5,0	5,9	8,8	1,3	1,5	4,5	7,5	1,9	4,9	5,8	5,5	3,8	0,3	2,9
	7	Hyg. pér	2,79	49				79,1					95,3					98,5		
	8	"	2,79	49				81,2					94,5					100,3		
Moder + AnS 14 H2O	9	120% HE	2,18	11	4,5	4,0	4,0	2,5	4,5	3,0	1,1	2,8	10,4	0,5	4,0	5,0	4,9	4,1	1,5	1,5
	10	"	2,19	11	4,5	4,0	5,0	4,5	5,9	2,5	1,8	4,4	6,8	3,7	3,9	3,8	5,5	5,3	2,2	0,7
	11	Hyg. pér	2,18	11				65,8					67,2					67,7		
	12	Hyg. pér	2,19	11				61,0					65,1					66,5		
Moder + AnS 2	13	120% HE	2,19	11	4,0	4,0	2,0	2,5	5,9	2,3	2,9	2,0	8,5	3,1	3,3	3,4	7,1	4,2	3,0	4,2
	14	"	2,18	11	5,0	4,0	4,0	2,5	7,6	2,5	3,0	2,5	7,5	2,1	2,5	5,4	6,1	4,1	0,5	2,5
	15	Hyg. pér	2,19	11				65,6					65,5					67,1		
	16	"	2,18	11				63,7					64,7					65,2		
Moder Témoins	17	120% HE	2,05	10	5,0	2,0	0	2,0	6,5	2,0	2,6	4,4	8,4	3,5	3,3	5,8	5,2	5,4	3,2	2,2
	18	"	2,17	11	7,0	3,0	1,0	2,3	8,9	1,2	4,0	5,0	9,7	4,7	3,6	5,4	5,3	6,8	1,4	2,4
	19	Hyg. pér	2,18	11				63,5					68,2					(1,0		
	20	"	2,17	11				55,7					45,2					45,3		

H.E. : Humidité équivalente

Hyg.pér. : Hygroperiodisme

Poids total : Poids de la boîte + poids du mélange à 120% H.E.

R. H. : Régime d'humidité

TABLEAU II-13 - Les additions d'eau distillée pour ramener les mélanges à 120% H.E.

ml d'EAU DISTILLÉE																					
Mélanges	N°	R. H.	Poids total an dé- part	décembre 1964				janvier 1965				février 1965				mars 1965				avril 1965	
				8	15	21	28	5	15	25	1	8	19	27	10	20	29	5	12	21	
Mull + Lit. Sapin	21	120% HE	3,58	25	5,0	4,0	5,0	7,5	8,3	1,7	2,0	4,9	4,2	2,7	3,0	5,0	2,5	6,4	4,5	1,3	
	22	" "	3,58	25	5,0	8,0	5,0	4,2	5,9	3,7	2,5	3,5	7,1	3,2	5,5	5,0	5,3	7,2	1,3	2,0	
	23	Hyg. pér	3,57	25					67,5				85,2					88,2			
	24	" "	3,57	25					80,4				85,4					85,3			
Mull + Lit. Hêtre	25	120% HE	3,82	48	5,5	7,0	5,0	5,3	4,7	3,7	1,3	3,4	0	0	2,2	4,4	5,9	3,1	1,0	2,9	
	26	" "	3,79	48	6,0	8,0	7,0	12,1	5,5	5,5	2,9	3,0	10,4	5,0	5,2	6,7	4,8	7,2	1,7	1,5	
	27	Hyg. pér	3,82	48					82,3				99,1					108,2			
	28	" "	3,80	48					98,7				99,4					111,2			
Mull + MnSC4 H2O	29	120% HE	3,00	0	0	2,0	1,0	0	8,0	3,2	2,3	3,0	8,7	2,2	4,0	4,8	7,9	3,7	0	1,6	
	30	" "	2,99	0	0	0	0	3,7	7,0	5,1	3,3	3,0	7,7	1,5	2,8	5,0	7,2	3,9	1,9	0,8	
	31	Hyg. pér	2,99	0					55,1				56,5					57,2			
	32	" "	2,99	0					53,8				55,0					55,2			
Mull + MnO2	33	120% HE	2,99	0	0	3,0	5,0	1,7	3,9	2,0	2,5	4,0	8,7	1,9	5,0	5,5	4,3	4,5	1,5	2,4	
	34	" "	2,99	0	0	4,0	4,0	0	7,0	3,3	2,2	4,7	8,2	4,2	3,0	3,5	9,0	5,4	1,5	2,1	
	35	Hyg. pér	2,98	0					52,8				59,3					55,5			
	36	" "	2,98	0					54,3				55,3					55,9			
Mull Témoins	37	120% HE	2,82	0	0	2,0	0	4,2	6,5	1,9	2,8	3,5	7,4	1,0	4,6	6,0	5,5	4,8	1,9	3,2	
	38	" "	2,99	0	0	4,0	4,0	4,2	5,4	4,1	1,8	3,0	5,9	5,1	2,0	5,5	4,1	7,8	0,6	2,2	
	39	Hyg. pér	2,98	0					56,5				57,1					53,9			
	40	" "	2,98	0					57,3				52,2					52,3			

84

H. E. : Humidité équivalente

Hyg. Pér. : Hygroperiodisme

Poids total : Poids de la boîte + poids du mélange à 120% H.E.

R. H. : Régime d'humidité

- Dispositif

TABLEAU II - 14 Dispositif expérimental -

Humus	Régimes d'humidité	Traitements				
		MnSO ₄ ·H ₂ O 600 mg	MnO ₂ 300mg	Litière Sapin 25 g	Litière Hêtre 25 g	Témoins
Mull 182.27 g poids sec à 105° C	120 % HE	2 répétitions	2	2	2	2
	Hygropériodisme	2	2	2	2	2
Moder 86.29 g poids sec à 105° C	120 % HE	2	2	2	2	2
	Hygropériodisme	2	2	2	2	2

- Déroulement de l'expérience

Début : la préparation des incubations a eu lieu le 2 décembre 1964 et les boîtes étant fermées, nous avons laissé l'humidité s'homogénéiser pendant une semaine. Le 8 décembre, les mélanges ont été humectés à 120 % de leur humidité équivalente (cette dernière ayant été déterminée à la presse mombane) et mis en incubation.

TABLEAU II - 15 Humidité des mélanges à 120 % H.E. par rapport au poids sec à 105° C

Humus	Traitements				
	MnSO ₄ ·H ₂ O	MnO ₂	Litière Sapin	Litière Hêtre	Témoins
Mull	33 %	33 %	42 %	54 %	33 %
Moder	81 %	81 %	75 %	100 %	81 %

Les 15 décembre 1964, 13 janvier, 18 février et 29 avril 1965 des analyses microbiologiques des mélanges ont été effectuées sur l'une des répétitions et pour chaque régime d'humidité. Le 26 février 1965, les mêmes analyses ont été faites une semaine après la réhumectation des échantillons soumis à l'hygroperiodisme. Ces analyses consisteront en un comptage de la microflore totale, de la population fongique et des actinomycètes ainsi que de la microflore minéralisant et précipitant le fer.

Ces analyses ont été faites aussi sur les humus avant l'expérience.

Ces analyses se faisant sur une prise de 5 g de mélange, des corrections ont du être faites sur le poids total des échantillons utilisés lors des additions d'eau distillée pour ramener à 120 % H.E.

Fin : A 121 jours, l'incubation a été arrêtée, les échantillons étant tamisés à 2 mm et placés en chambre froide dans l'attente d'analyse du Mn échangeable et facilement réductible. Les dosages sur les incubations à 120 % HE étaient terminés après deux semaines et ceux des incubations avec alternance après 1 mois de chambre froide.

223 - Techniques d'analyse -

a) Analyse microbiologique :

- Echantillon : Une des répétitions des traitements
- Prise : 5 g du mélange humide
- Dilution : La dilution 10^{-1} était obtenue en faisant agiter pendant 30 mn la prise de 5 g dans 47,5 ml d'eau distillée stérile. Les autres dilutions étaient obtenues à partir de la 10^{-1} .

- Milieux de culture utilisés :

la microflore totale : Milieu de Lochhead (EGDELL 1960)

Les champignons : Milieu OPYA-PAPAVIZAS (Papavizas 1959)
 Les actinomycètes : Milieu de Benedict modifié (Porter 1960)
 La microflore minéralisant et précipitant le Fer : Milieu de
 HARDER (1919)

- Comptage : Les comptages avaient lieu à :

7 jours pour microflore totale
 7 jours pour les champignons
 14 jours pour les actinomycètes
 14 jours pour la microflore précipitant et minéralisant le Fer.

- Résultats : Exprimés par gramme de carbone

b) Analyses chimiques : I Des Incubations -

- Dosage du carbone : Méthode ANNE modifiée (Analyses agronomiques 1963).

- Dosage des acides humiques : Méthode du permanganate N/10 de DUCHAUFOR et JACQUIN (Annales agronomiques 1963).

Le fractionnement en acides humiques bruns, gris et intermédiaires a été fait par électrophorèse.

- Dosage du Mn échangeable :

- 1) Percolation de 200 ml d'eau distillée après macération de 12 h. (Lessivage)
- 2) Percolation de 250 ml d'une solution d'acétate d'ammonium N à pH = 7 sur 10 g humide (120 % H.E.) ou sec à air (Hygropériodisme) des mélanges après macération de 12 heures.
- 3) Détermination du Manganèse par la méthode WILDE et VOIGT modifiée.

- Dosage du Mn facilement réductible :

- 1) Percolation de 250 ml d'une solution d'acétate d'ammonium N avec 0,2 % de Chlorhydrate d'hydroxylamine à pH = 7 sur 10 g de mélange humide (120 % H.E.) ou sec à l'air (Hygropériodisme) après macération de 12 heures.
- 2) Détermination du Manganèse par la méthode WILDE et VOIGT modifiée.

.. pH - Les pH's des incubations à 120 % H.E. et sous hygropériodisme ont été mesurés au pH mètre après macération de 12 heures de 5 gr de mélange dans 10 et 15 ml d'eau distillée respectivement.

Pourcentage humidité :
$$\frac{\text{Poids humide} - \text{poids sec à } 105^{\circ} \text{ C}}{\text{Poids humide}} \times 100$$

II Analyse des litières :

- 1) Minéralisation avec 10 cc de H₂SO₄ concentré et 5 ml H₂O₂ (répété si nécessaire) de 500 mg de tissu séché à 65° C et boyé à 2 mm.
- 2) Lessivage de 200 ml d'eau distillée après macération de 12 heures. (29).
- 3) Percolation de 250 ml d'une solution à pH = 7 d'acétate d'ammonium N sur 2 g de tissu séché à 65° C après macération de 12 heures afin d'obtenir le Mn échangeable.
- 4) Percolation de 250 ml d'une solution à pH = 7 d'acétate d'ammonium N avec 0,2 % de Chlorhydrate d'hydroxylamine sur 2 g de tissu séché à 65° C après macération de 12 heures afin d'obtenir le Mn facilement réductible.
- 5) Détermination du Mn dans les percolats par la méthode de WILDE et VOIGT modifiée.

23 - RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES -

23I - Analyses préliminaires des Humus et Litières -

a - Les Humus -

TABIEAU II - I6 Analyses des Humus tamisés à 2 mm - Résultats pour 100 g d'humus séché à l'air.

Humus	pH	C %	M.O. %	H %	C/N %	K me	Ca me	Mg me	P2O5 %	Fe %	T me	Mn éch. me	Mn F.r. me	% H
Mull	4,4	3,04	5,2	0,14	21,7	0,29	0,86	0,13	0,09	0,48	100	0,32	4,79	1,83
Moder	3,4	11,44	22,9	0,44	26,0	0,38	0,93	0,63	0,06	0,15	224	0,05	0,07	4,89

TABIEAU II - I7 Analyse du Mn échangeable et facilement réductible
sur les humus humides tamisés à 2 mm. - Résultat pour
100 g d'humus séché à 105° C -

Humus	Mn éch. me	Mn f. r. me	% H
Mull	0,23	5,35	22,58
Moder	0,086	0	41,92

Légende : M.O. = Matière Organique
 T = Capacité totale d'échange
 Mn éch. = Manganèse échangeable seul
 Mn f.r.; = " facilement réductible seul
 % H = Pourcentage d'humidité

Notions : Mn f.r. = C'est le manganèse se trouvant sous forme d'oxyde supérieur (Mn_2O_3 ou Mn_3O_4) ou de complexe organique $[Mn^{3+}(CHO)]$, et pouvant être déplacé par un réducteur tel que le chlorhydrate d'hydroxylamine. Certains auteurs le considèrent comme une réserve de Mn pouvant être disponible pour la nutrition des plantes.

b) Les litières :

TABIEAU II - I8 Manganèse dans les Litières -
Exprimé en milliéquivalent par gr. de litière séché à
65° C. et le % de Carbone.

Litières	Hêtres	Sapins
Minéralisation	0,179	0,151
Percolation d'acétate d'ammonium N pH = 7,0	0,173	0,149
Percolation d'acétatz d'ammonium N + 0,2 % de chlorhydrate a pH=7	0,168	0,150
Lessivage de Mn par 200 ml d'eau distillée	0,076	0,093
% C	74,91	41,41

COMMENTAIRES -

Si nous admettons qu'une solution Normale d'acétate d'ammonium déplace le manganèse échangeable c'est à dire le manganèse bivalent (Mn^{2+}) nous pouvons constater d'après les résultats que le Mn des litières est totalement bivalent.

Le lessivage chez la litière de sapin correspond à 62 % du manganèse de la litière contre 43 % chez le hêtre. Donc le lessivage est presque 1,5 supérieur chez la litière de sapin comparée à celle du hêtre.

232 - Calcul approximatif (± 10 %) de manganèse échangeable et facilement réductible dans 100 g de mélange incubé au début de l'expérience.

Les mélanges n'ayant pas été analysés au début et l'humus utilisé n'étant pas tamisé, nous avons du calculer approximativement les valeurs en Mn échangeable et facilement réductible des mélanges pour connaître approximativement le point de départ.

Les calculs ont été faits de la façon suivante :

a) - % de la fraction d'Humus ≤ 2 mm

Dix tamisages de 100 g d'Humus ont été faits pour séparer la fraction d'humus > 2 mm

Nous avons trouvé :

TABLEAU II - 19 Fraction d'Humus ≤ 2 mm avec calculs statistiques -

Humus	Fraction ≤ 2 mm m gr.	M - m	(M-m) ²	
<u>Moder</u>	73.25	2,28	5,198	$\bar{r} = \frac{(54.663)^{\frac{1}{2}}}{9} = 2.464$ $\bar{r}_M = \frac{2.464}{(10)^{\frac{1}{2}}} \cdot (1 - \frac{10}{20})^{\frac{1}{2}} = 0.551$ Pour une erreur permise de 10% $t = \frac{7.553}{0.551} = 13.70$ Pour une erreur permise de 5% $t = \frac{3.777}{0.551} = 6.85$
	79,30	3,77	14,213	
	78,44	2,91	8,468	
	78,76	3,23	10,433	
	74,04	1,49	2,220	
	72,37	3,16	9,986	
	76,00	0,47	0,221	
	74,00	1,03	1,061	
	74,18	1,35	1,823	
	74,51	1,02	1,040	
	M = 75.53		54.663 = Σ	
<u>Mull</u>	83.32	2.35	5.523	$\bar{r} = 2.640$ $\bar{r}_M = 0.590$ Pour une erreur permise de 10% $t = \frac{8567}{.590} = 14,52$ Pour une erreur permise de 5% $t = \frac{4,284}{.590} = 7,26$
	86.10	0.43	.185	
	82.15	3.52	12.390	
	84.15	1.52	2.310	
	85.21	0.46	.212	
	88.02	2.35	5.523	
	85.54	0.13	.017	
	89.46	3.79	14.364	
	83.15	2.52	6.350	
	89.65	3.98	15.840	
	M = 85.67		62.714 = Σ	

Les valeurs de t aux seuils de 95 % et 99 % pour N = 10 sont respectivement 3,17 et 2,23. Donc nos moyennes sont très significatives avec une erreur de moins de 5 % possible.

b) - Poids sec à l'air d'Humus dans les boîtes.

Le poids sec à l'air d'humus dans les boîtes a été trouvé en soustrayant la quantité d'eau maximum ajoutée aux traitements MnSO₄ et MnO₂

subissant l'hydropériodisme, pour les ramener à 120 % H.E.

$$\begin{array}{rcl} \text{Poids à 120 \% H.E.} & - & \text{ml d'eau pour} \\ \text{de l'humus + boîte} & & \text{ramener à 120 \% H.E.} \end{array} = \text{Poids sec de l'humus + boîte}$$

Sachant que le poids des boîtes est d'environ $57 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$, nous avons :

$$\begin{array}{rcl} \text{Poids sec de} & - & \text{Poids de boîte} \\ \text{l'humus + boîte} & & \end{array} = \text{Poids sec de l'humus}$$

Les traitements MnSO_4 et MnSO_2 ont été choisis pour ce calcul car aucun prélèvement n'a été fait sur ces échantillons pour fin d'analyse microbiologique.

Nous avons trouvé pour l'humus Moder qu'un poids sec à l'air de $95 \text{ g} \pm 3 \%$ et pour l'Humus Mull de $186 \text{ g} \pm 2 \%$ ont été utilisés pour les mélanges.

c) La fraction $\leq 2 \text{ mm}$ des Humus dans les mélanges sera en poids sec à l'air

$$\text{Humus Moder} = 95 \text{ g} \times 75.53 \% = 71.8 \text{ g} \pm 10 \%$$

$$\text{Humus Mull} = 186 \text{ g} \times 85.67 \% = 159.4 \text{ g} \pm 10 \%$$

d) Milliéquivalent, total de Mn échangeable et facilement réductible fourni par l'humus - Poids sec à 105° C de la fraction $\leq 2 \text{ mm}$.

D'après les déterminations de Mn échangeable et facilement réductible faites sur les humus humides nous pouvons calculer les me totaux pour la fraction d'humus $\leq 2 \text{ mm}$ dans chaque boîte.

TABIEAU II - 20 Milliéquivalents totaux de Mn éch. et F.r. fournis par l'humus - Poids sec à 105° C de la fraction $\leq 2 \text{ mm}$.

Humus	Mn échang. me / boîte	Mn f. r. me / boîte	Poids à 105° C / boîte fraction $\leq 2 \text{ mm}$
Moder	0,06	0	68,3
Mull	0,36	8,37	156,5

e) Milliéquivalents pour 100 g de mélange en Mn échangeable et facilement réductible (100 g séchés à 105° C).

Sachant la richesse en Mn^{2+} (échangeable) des litières par gr. nous pouvons le calculer pour 25 g. De même nous pouvons calculer le nombre de me. de Mn^{2+} additionnés par le $MnSO_4 \cdot H_2O$ et me de Mn^{4+} additionnés par le MnO_2 . Nous avons :

Litière de Hêtre	:	4,48 me de Mn^{2+} / 25 g
" de Sapin	:	3,78 me " "
600 mg de $MnSO_4 \cdot H_2O$	:	7,10 " "
300 mg de MnO_2	:	6,90 me de Mn^{4+}

TABIEAU II - 2I Milliéquivalents de Mn échangeable, Mn facilement réductible et Mn additionnés pour 100 g de mélange à 105° C au début de l'expérience - Humus tamisé à 2 mm.

Traitements	Mn échang.		Mn f.r. ± 10 %	Mn actif ± 10 %	Mn 4^{+} add.
	add.	Humus			
Moder + lit. Sapin	4,05	0,07	0	4,12	10,06
Moder + lit. Hêtre	4,80	0,07	0	4,87	
Moder + $MnSO_4 \cdot H_2O$	10,31	0,08	0	10,39	
Moder + MnO_2		0,08	0	0,08	
Moder (Témoin)		0,08	0	0,08	
Mull + lit. Sapin	2,08	0,20	4,61	6,89	4,40
Mull + lit. Hêtre	2,47	0,20	4,61	7,28	
Mull + $MnSO_4 \cdot H_2O$	4,52	0,23	5,33	10,08	
Mull + MnO_2		0,23	5,33	5,56	
Mull (Témoin)		0,23	5,33	5,56	

Légende : Lit. : Litière
Mn actif : Mn échangeable + Mn facilement réductible
Mn f.r. : Mn facilement réductible seul
Mn éch. add. : Mn^{++} additionné par les litières ou chimiquement pour 100 g de mélange.
Mn éch. humus : Mn échangeable fourni par l'humus pour 100 g de mélange
 Mn^{4+} add. : Mn^{4+} additionné par le MnO_2

233 - Résultats des analyses chimiques après 19 semaines d'incubation

a) Incubation à 120 % de l'humidité équivalente -

TABIEAU II - 22 - Mn échangeable et facilement réductible pour les traitements gardés à 120 % H.E. après 19 semaines -
Résultats en me / 100 g séchés à 105° C -

Traitements	No	% H	pH	Mn lessivé me	Mn éch. me	Mn f.r. me
Moder + Lit. Sapin	1	49,24	4,60	0,060	3,876	0
	2	47,56	4,60	0,034	3,442	0,074
Moder + Lit. Hêtre	5	48,80	4,90	0,012	0,928	3,889
	6	48,16	4,90	0,015	0,655	4,311
Moder + Mn SO ₄	9	37,30	3,10	3,662	7,585	0
	10	38,61	3,18	4,086	8,346	0
Moder + Mn O ₂	13	36,48	4,20	1,975	3,463	3,258
	14	37,10	4,20	1,875	3,374	3,649
Moder témoin	17	31,96	4,17	0,038	0,102	0
	18	35,37	4,10	0,055	0,109	0
Mull + Lit. Sapin	21	28,37	4,87	0,028	0,413	5,445
	22	27,85	4,84	0,028	0,427	5,900
Mull + Lit. Hêtre	25	30,56	4,61	0,043	0,293	6,580
	26	32,58	4,75	0,018	0,244	6,657
Mull + Mn SO ₄	29	17,10	4,14	1,570	3,019	5,564
	30	16,07	4,15	1,675	3,282	5,185
Mull + Mn O ₂	33	15,66	4,71	0,076	0,593	8,124
	34	18,05	4,70	0,085	0,581	8,664
Mull témoin	37	11,79	4,68	0,033	0,466	4,961
	38	14,91	4,71	0,033	0,483	4,897

Légende : % H : pourcentage d'humidité
Mn lessivé : C'est le Mn lessivé par une percolation de 200 cc d'eau distillée
Mn éch. : Manganèse échangeable = Mn lessivé + Mn extrait par une solution d'acétate d'ammonium (N) à pH = 7,0
Mn f.r. : Manganèse facilement réductible uniquement. C'est à dire que le Mn éch. a été soustrait des résultats de l'extraction avec chlorhydrate d'hydroxylamine.

b) - Incubation sous hygropériodisme -

TABIEAU II - 23 Mn échangeable et facilement réductible pour les traite-
ments ayant subi l'hygropériodisme, après 19 semaines
Résultats en mg/ 100 g séchés à 105° C -

Traitements	No	% H	pH	Mn lessivé mg	Mn éch. mg	Mn f.r. mg
Moder + lit. Sapin	3	7,19	4,45	0,009	2,816	0,309
	4	11,32	4,50	0,020	3,288	0
Moder + lit. Hêtre	7	6,99	4,75	0,004	1,386	2,807
	8	15,82	4,80	0,005	1,226	3,169
Moder + Mn SO ₄	11	4,64	3,12	3,440	6,722	0,147
	12	4,49	3,09	3,528	6,805	0,053
Moder + Mn O ₂	15	4,89	4,07	0,005	1,138	3,120
	16	4,42	4,00	0,005	1,314	3,766
Moder témoin	19	4,60	3,93	0,007	0,052	0
	20	4,12	4,01	0,005	0,056	0
Mull + lit. Sapin	23	4,60	4,89	0,046	0,916	4,744
	24	3,50	5,00	0,110	1,675	4,180
Mull + Lit Hêtre	27	5,515	5,07	0,004	0,518	6,071
	28	3,65	5,11	0,022	0,754	6,096
Mull + Mn SO ₄	31	2,03	4,63	2,251	4,860	3,106
	32	1,86	4,72	2,028	4,947	2,797
Mull + Mn O ₂	35	2,00	5,07	0,135	1,698	7,078
	36	1,73	5,08	0,102	1,535	6,758
Mull témoin	39	1,90	5,18	0,124	1,735	3,362
	40	1,71	5,08	0,098	1,747	3,340

Légende : % H : pourcentage d'humidité
Mn lessivé : C'est le Mn lessivé par une percolation de 200 cc
d'eau distillée
Mn éch. : Mn lessivé + Mn extrait par une solution d'acétate
d'ammonium (N)) pH = 7,0
Mn f.r. : Mn facilement réductible uniquement

c) Moyennes du Mn éch. et Mn f.r. des traitements à 120 % H.E. et sous hygroperiodisme.

TABIEAU II - 24 Moyennes des répétitions du Mn échangeable et facilement
réductible après 19 semaines pour chaque traitement à 12
H.E. et sous régime d'hygroperiodisme - Comparaison avec
le point de départ. Résultats en me/100 g séchés à 105° C

Traitements	au début		après 19 semaines			
			120 % H.E.		Hygroperiodisme	
	Mn éch.(I) me	Mn f.r. me	Mn éch. me	Mn f.r. me	Mn éch. me	Mn f.r. me
Moder + Lit de sapin	4,12	0	3,659	0,037	3,052	0,155
Moder + Lit de Hêtre	4,87	0	0,792	4,100	1,306	2,988
Moder + Mn SO ₄	10,39	0	7,966	0	6,764	0,100
Moder + MnO ₂ (Mn ⁴⁺ =10,06me)	0,08	0	3,419	3,454	1,226	3,443
Moder (témoin)	0,08	0	0,106	0	0,054	0
Mull + Lit de sapin	2,28	4,61	0,420	5,673	1,296	4,462
Mull + Lit de hêtre	2,67	4,61	0,269	6,619	0,636	6,084
Mull + Mn SO ₄	4,75	5,33	3,151	5,375	4,904	2,952
Mull + MnO ₂ (Mn ⁴⁺ =4,40me)	0,23	5,33	0,587	8,394	1,617	6,918
Mull (témoin)	0,23	5,33	0,475	4,929	1,741	3,351

(I) - Mn éch., début = Mn éch. add. + Mn éch. Humus

- Remarques : 1) La précision des moyennes par rapport aux répétitions est de 5 % à 10 %.
- 2) La précision des résultats du Mn éch. et Mn f.r. au début de l'expérience est aussi de 10 %.
- 3) Donc l'interprétation des résultats devra tenir compte d'une variation possible de 10 %.

234 - Expression des résultats en pourcentage du Mn actif dans les Traitements au départ de l'expérience -

Les quantités de Mn dans les Traitements au départ de l'expérience étant variables, il est nécessaire de présenter les résultats en pourcentage du Mn actif (Mn éch. + Mn f.r.) existant dans le milieu au début de l'expérience pour évaluer le rendement des transformations intervenues. (d'après les tableaux II- 2I et II - 24).

TABLEAU II - 25 Résultats en pour cent du Mn actif présent dans les traitements au départ de l'expérience -

Traitements	Début				après 19 semaines					
					I20 % H.E.			Hygropériodisme		
	Mn++ add. %	Mn éch. %	Mn f.r. %	Mn ⁴⁺ add. %	Mn éch. %	Mn f.r. %	Mn n.e. %	Mn éch. %	Mn f.r. %	Mn n.e. %
Moder + sapin	98	2	0		89	1	10	74	4	22
Moder + hêtre	99	1	0		16	84	0	27	61	12
Moder + MnSO ₄	99	1	0		77	0	23	65	10	25
* Moder + MnO ₂	0	1	0	99	34	34	32	12	34	54
Moder(témoin)	0	100	0		133	0	-33	68	0	32
Mull + Sapin	30	3	67		6	82	12	19	65	16
Mull + Hêtre	34	3	63		4	91	5	9	84	7
Mull + MnSO ₄	45	2	53		31	53	16	49	29	22
Mull + MnO ₂ *	0	2	51	47	6	81	13	16	67	17
Mull(témoin)	0	4	96		9	89	2	31	60	9

✱ Pour ces traitements les me de Mn ajouté par le Mn O₂ sont inclus dans le Mn actif.

Mn éch. au début = Mn éch. add. + Mn éch. de l'Humus.

Légende : Mn₄₊ add. = au départ, c'est le Mn₄₊ additionné dans le traitement MnO₂

Mn n.e. = Mn non extractible, c'est la différence entre 100 % et la somme du Mn éch. % et Mn f.r. %, C'est donc une forme de Mn qu'on ne peut extraire par les procédés normaux et qui est oxydée ou fixée irréversiblement.
 $100 \% - (\text{Mn éch.} + \text{Mn f.r.}) = \text{Mn}^{4+}$

Mn actif = Mn éch. + Mn f.r.

Mn éch. = Mn échangeable

Mn f.r. = Mn facilement réductible.

235 - Phénomènes essentiels observés d'après les résultats -

- 1) - à 102% d'humidité équivalente, le Mn additionné par les litières ou chimiquement sous forme de Mn₂₊ ou Mn₄₊ (MnO₂) est transformé en grande partie en Mn facilement réductible (Mn f.r.) chez l'humus Mull. Tandis qu'on le retrouve sousforme échangeable chez le Moder sauf pour les traitements avec litière de Hêtre et Mn O₂.
- 2) Notons le comportement semblable aux enrichissements chez le Mull et la similitude entre les traitements Moder + litières de Hêtres et Moder + MnO₂.
- 3) L'hydropériodisme favorise une dismutation du Mn f.r., lorsque cette forme est en plus grande concentration, augmentant la concentration en Mn éch. Lorsque la concentration en Mn éch. est plus forte, l'hydropériodisme provoque une oxydation d'où diminution de celle-ci (Voir tableau II-24).

24 - INTERPRETATIONS DES RESULTATS -

24I - Différence d'évolution du Mn additionné aux humus en Mn SO₄ et MnO₂ - Action de la microflore -

24II - Différenciation des humus - Traitements à 120 % H.E.

Si l'on suppose que l'évolution des formes du Mn présentes dans les humus, avant les additions de $MnSO_4$ et MnO_2 , est la même dans les traitements que les témoins, il nous est donc permis de faire un bilan d'évolution du Mn additionné, par différence entre les traitements et les témoins des formes respectives du Mn.

Exemple type : Traitements mull + $MnSO_4$ (voir tableau II - 24)

			après		X
Mn éch. + Mn f.r.			incubation		
			Mn éch. + Mn f.r. + Mne		
Mull+Mn SO ₄	4,75	5,33 me	3,15 me	5,38 me	1,55 me
- Mull(témoin)	0,23me	5,33 me	0,48 me	4,93 me	0,15 me
Bilan d'évo- lution	4,52me (Mn ²⁺)		2,67 me	0,45 me	1,40 me

X Mn n.e. = manganèse non extractible -

Ce calcul a été fait pour les traitements $MnSO_4$ et MnO_2 des deux humus
tableau II - 26 -

TABLEAU II - 26 Bilan d'évolution du Mn additionné aux humus en $MnSO_4$
et MnO_2 -

Traitements	unités	au départ		après incubation		
		Mn^{2+}	Mn^{4+}	Mn éch.	Mn f.r.	Mn n.e.
Moder+ $MnSO_4$	me	10,31		7,86	0	2,45
	%	100		76	0	24
Moder+ MnO_2	me		10,06	3,31	3,45	3,30
	%		100	33	34	33
Mull+ $MnSO_4$	me	4,52		2,67	0,45	1,40
	%	100		59	10	31
Mull+ MnO_2	me		4,80	0,11	3,46	1,23
	%		100	2	72	26

Commentaires :

1) A I20 % H.E. l'addition du Mn SO_4 aux humus nous a permis d'étudier l'activité de la microflore oxydante du Mn^{2+} . En admettant que le Mn n.e. et Mn f.r. sont des oxydes supérieurs du Mn nous constatons, comme déjà observé dans l'étude en milieu liquide enrichi en Mn SO_4 , que le pouvoir oxydant de la microflore du mull est supérieur à celui de la microflore du moder. Ainsi 41 % du Mn^{2+} est oxydé en Mn n.e. et Mn f.r. dans le mull contre 24 % dans le moder.

2) Le pouvoir réducteur de la microflore du mull est aussi supérieur à celui de la microflore du moder. Du Mn^{4+} additionné 74 % est réduit dans le mull contre 67 % dans le moder.

3) La microflore de l'humus mull favorise la formation de Mn facilement réductible tandis que celle du moder tend à conserver la forme Mn^{2+} ou à la produire à partir du Mn^{4+} (MnO_2).

4) Notons que l'action réductrice des acides humiques et de l'acidité sur le MnO_2 est toujours possible.

24I2 - Effet de l'hydropériodisme -

Une observation attentive des résultats obtenus des traitements MnO_2 et MnSO_4 ayant subi l'hydropériodisme nous montre que l'effet d'hydropériodisme s'est ajouté aux phénomènes d'oxydation et de réduction intervenus à I20 % H.E. Par exemple le fait que le Mn O_2 ait été réduit chez les traitements Mull + MnO_2 et Moder+ Mn O_2 ayant subi l'hydropériodisme et la formation de Mn f.r. chez le Moder + Mn SO_4 nous le prouve bien. Donc les mêmes phénomènes observés à I20 % H.E. ont eu lieu auxquels s'est ajouté l'hydropériodisme. De sorte que pour étudier l'effet d'hydropériodisme il est préférable de comparer avec

les traitements à 120 % H.E.

a) Ainsi chez les traitements Mull + MnSO₄, Mull + Mn O₂ et Mull (Témoins) l'hydropériodisme a pour effet, la dismutation du Mn f.r. tel qu'observé par d'autres auteurs tels que SANCHEZ et KAMPRATH (1959).

Cette dismutation du Mn f.r. en Mn éch. et Mn n.e. présente d'ailleurs des proportions équivalentes très semblables pour les trois traitements mentionnés auparavant. La différence entre les résultats en me des trois formes de Mn du régime à 120 % H.E. et d'hydropériodisme, nous le montre clairement. D'après le tableau II - 24 nous trouvons :

TABLEAU II - 27 Proportions de Mn éch. et Mn n.e. obtenues de la
dismutation du Mn f.r.

Traitements	Mn f.r. perte me	Hyg. pér. —————→	Mn éch. gain me	+	Mn n.e. gain me
Mull+Mn SO ₄	2,43(1)*		1,75(,75)		0,68 (,25)
Mull+Mn O ₂	1,47(1)		1,03(,71)		0,44 (,29)
Mull témoin	1,58(1)		1,26(,76)		0,22 (,24)

* () Valeur rapportée à l'unité.

Les proportions rapportées à l'unité sont en moyenne :

1 Mn f.r. —————→ 0,74 Mn éch. + 0,26 Mn n.e.
approximat.4 Mn f.r. —————→ 3 Mn éch. + 1 Mn n.e.

Donc chez le Mull la dismutation du Mn f.r. nous donne 3 fois plus de Mn éch. que de Mn n.e.

b) - Au contraire chez les traitements Moder+Mn SO₄, Moder+MnO₂ et le Moder (témoin) l'hydropériodisme accroît la proportion de Mn n.e. et donc l'oxydation du Mn éch. Toujours en comparant aux traitements à 120 % H.E. le même calcul que fait pour le Mull transposé au Moder nous le prouve : (d'après le tableau II - 24)

TABIEAU II - 28 Proportion du Mn f.r. et Mn n.e. obtenue par l'effet d'hydropériodisme au détriment du Mn éch. -

Traitements	Mn éch. perte me	→ hyg. pér.	Mn f.r. gain me	+ Mn n.e. gain me
Moder+Mn SO ₄	1,21		0,10	1,11
Moder+Mn O ₂	2,19		0	2,19
Moder(témoin)	0,05		0	0,05

(1) - Fait important à constater, l'abaissement du taux de Mn éch. au profit du Mn f.r. ou Mn n.e. laisse croire à la stimulation de l'oxydation par l'hydropériodisme.

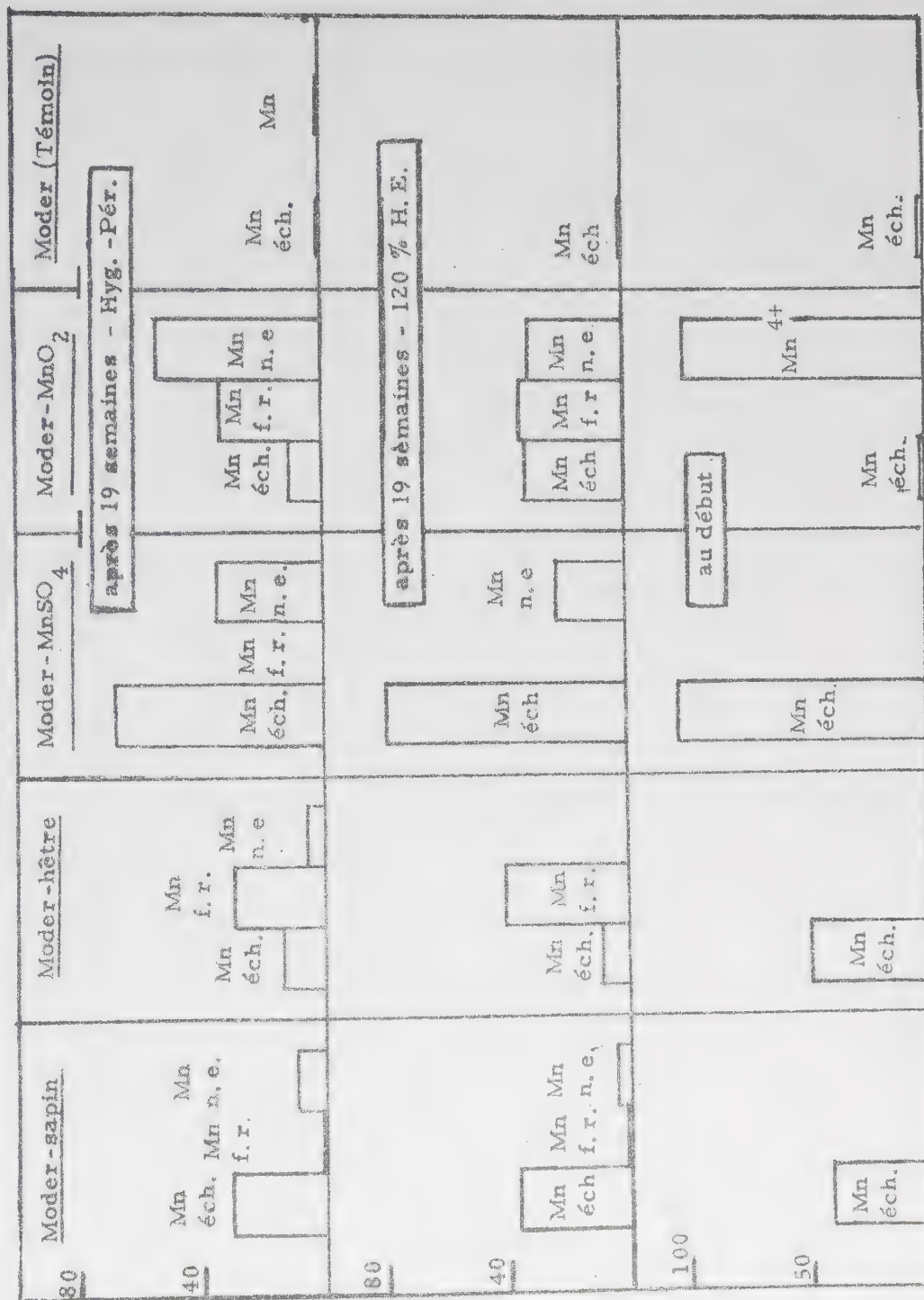
(2) - Autre fait à signaler, l'apparition du Mn f.r. chez le traitement Mull+Mn SO₄. La possibilité que le Mn f.r. provient du Mn n.e. n'est pas exclue.

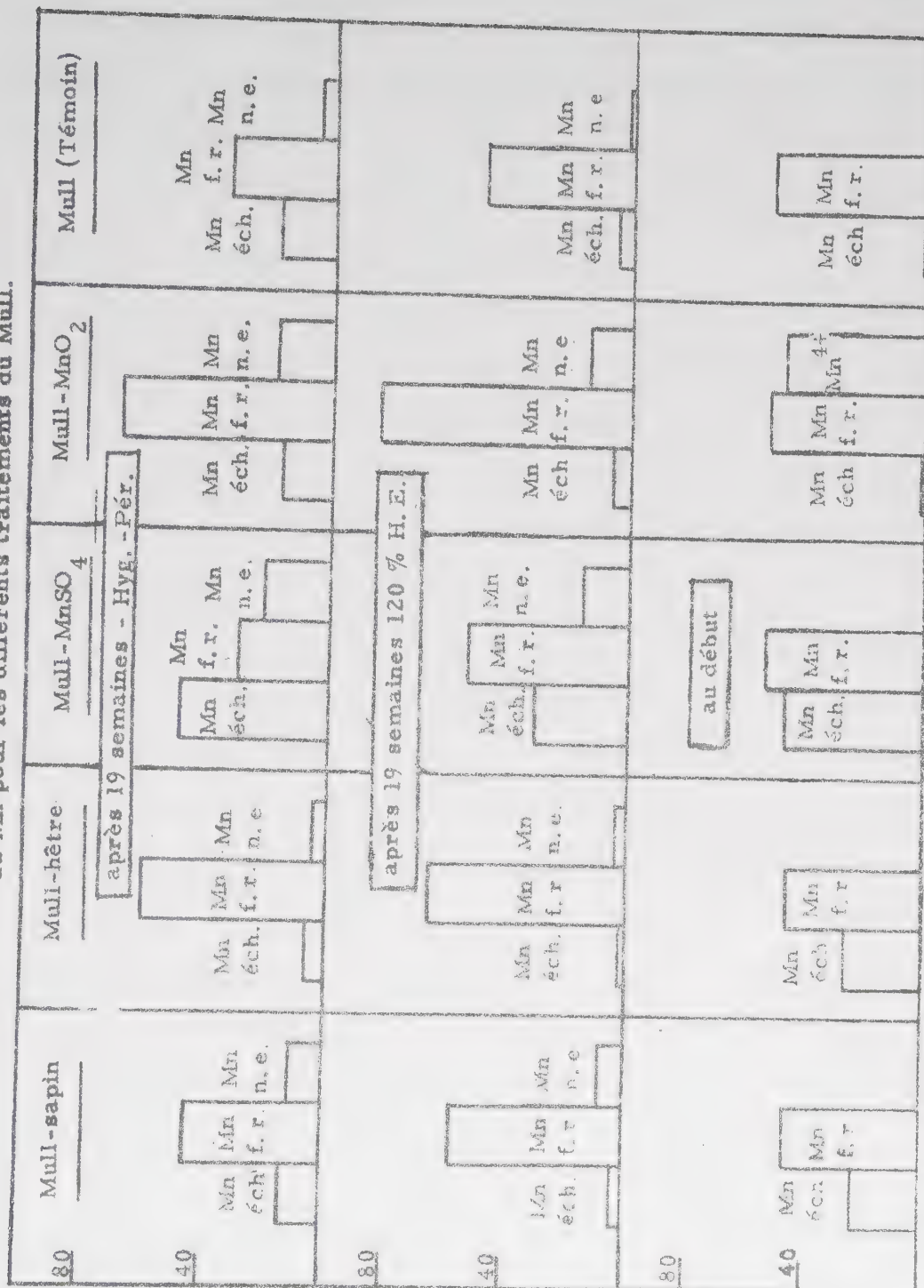
2413 - Conclusion -

D'après les traitements du Mn SO₄ et Mn O₂ additionné aux humus et les échantillons témoins nous pouvons différencier nettement les deux humus. (voir graphiques II - 13 et II - 14).

a) Le Mn des litières étant bivalent, nous croyons que la différentiation des humus dans les conditions naturelles, se traduit par leur pouvoir oxydant beaucoup plus efficace (presque 2 fois plus) pour le mull que le moder.

Graphique II-14 Représentation graphique des moyennes des résultats
du Mn pour les différents traitements du Moder





Résultats en me.

En second lieu les humus se différencient dans les produits d'oxydation et de réduction : 25 % et 98 % du Mn oxydé et réduit respectivement des traitements Mull+Mn SO₄ et Mull+Mn O₂ sont du Mn f.r. contre 0 % et 50 % des traitements Moder+Mn SO₄ et Moder+Mn O₂.

b) - L'humus Mull par son pouvoir d'oxydation du Mn supérieur à celui du Moder diminue la possibilité du lessivage.

Les résultats du lessivage nous indique qu'environ 50 % du Mn éch. chez le Mull comme chez le Moder est lessivé par 200 ml d'eau distillée. Mais si au départ les mêmes quantités de Mn⁺⁺ sont ajoutées l'oxydation étant plus rapide chez le Mull (41 % contre 24 % chez le Moder pour la même période d'incubation) la proportion de Mn⁺⁺ présente chez le Mull sera toujours inférieure à celle chez le Moder.

De sorte que le lessivage en valeur absolue sera supérieur chez le Moder. Ainsi en supposant qu'au départ 4,75 me de Mn éch. était présent chez le Moder+Mn SO₄ comme c'est le cas chez le Mull+MnSO₄, toutes proportions gardées, le lessivage par 200 ml d'eau serait de $4,75 - (4,75 \times 41\%) \times 50\% = 1,70$ me chez le Mull et de $4,75 - (4,75 \times 24\%) \times 50\% = 1,86$ chez le Moder.

c) - L'hydropériodisme grâce à la dismutation du Mn f.r. accroît la concentration en Mn éch. chez le Mull de 22 % par rapport au régime à 120 % H.E. pour l'échantillon de contrôle. Tandis que chez le Moder, il contribue à réduire la concentration en Mn éch. de 65 % si l'on compare avec le régime à 120 % H.E. ou 32 % par rapport au départ d'après le tableau II-25.

242 - Différence d'évolution du Mn des litières additionnées aux Humus - Influence du Type de Litière -

242I - Différenciation des Humus et Litières -

Les enrichissements en Mn SO₄ et Mn O₂ nous ont permis d'élucider certains

phénomènes qui normalement devraient se produire en présence de matière organique à décomposer. Donc il est très possible que cette source nutritive de la microflore ait manqué dans le cas des enrichissements chimiques. De plus nous savons que dans une première phase de décomposition une microflore spécifique s'attaque aux composés organiques facilement minéralisables et qu'intervient, par la suite, une autre microflore qui minéralise plus lentement les produits difficilement décomposables. Ces deux microflore dans le cas des litières peuvent agir différemment en regard du Mn^{2+} présent dans celle-ci. N'oublions pas que le Mn des litières est bivalent (Mn^{2+}).

Les litières de sapin et Hêtre sont donc des enrichissements complets qui nous permettront de différencier les humus ainsi que l'influence de la litière sur le devenir du Mn.

.Si nous supposons l'inexistence d'inter-action humus-litière dans les traitements, nous pouvons croire que les phénomènes observés dans les témoins se sont produits dans la fraction humus des traitements. En tenant compte de l'évolution des formes du Mn dans la fraction humus et par la différence avec les résultats du mélange après incubation, nous pouvons établir un bilan d'évolution du Mn des litières.

Le bilan a été fait de la façon suivante : Cas du mull + litière de sapin.

Le témoin Mull montre que 0,40 me de Mn f.r. est devenu au cours de l'incubation 0,25 me Mn ech. + 0,15 me Mn n.e. Mais le mélange Mull + Litière de sapin est composé de 156,5 g d'humus (2 mm) et 25 g de litière d'où le Mn f.r. transformé dans la partie humus du mélange est :

$$\begin{array}{r} 156,5 \\ \hline 156,5 \end{array} \times 0,40 = 0,35$$

Mais 0,40 me Mn f.r. nous donne 0,25 me Mn éch. d'où 0,35 me Mn f.r. donnera :

$$\frac{0,35 \times 0,25}{0,40} = 0,22 \text{ me Mn éch. et } 0,13 \text{ Mn n.e.}$$

Ainsi l'évolution suivante du mélange Mull + litière de sapin est observée : Mn éch. + Mn f.r. après incubation $\rightarrow$ Mn éch. + Mn f.r. + Mn n.e.

1) Mélange : 2,28 + 4,61	0,42	+ 5,67	+ 0,80
2) Partie humus : 0,20 + 4,61	0,42	+ 4,26	+ 0,13
3) Partie litière : 2,08	0,00	+ 1,41	+ 0,67

ou le Mn éch. après incubation = Mn éch. au départ + Mn éch. produit pour la partie humus par 0,35 me Mn f.r.

Mn f.r. après incubation = Mn f.r. au départ - 0,35 pour la partie humus 4,61

Mn n.e. après incubation = 0,35 - 0,22

Si nous soustrayons les quantités de Mn éch. et Mn f.r. originant de la partie humus du mélange, après 19 semaines d'incubation, des quantités de Mn éch. et Mn f.r. respectivement obtenu par détermination sur le mélange (tableau II - 24) nous obtenons le bilan de l'évolution du Mn^{++} de la litière (voir tableau II - 29).

TABLEAU II - 29 Bilan de l'évolution du Mn^{++} des litières - Rendement de transformation p.v. au Mn total additionné par les litières -

Traitement	unité	Départ	après 19 semaines d'incubation			Rendement
		Mn éch.	Mn éch.	= Mn f.r.	+ Mn n.e.	
Moder+sapin	me	4,02	3,57	0,04	0,44	12 %
	%	100	88	1	11	
Moder+hêtre	me	4,80	0,70	4,10	0	85 %
	%		15	85	0	
Mull +sapin	me	2,08	0,00	1,41	0,67	100 %
	%	100	0	68	32	
Mull +hêtre	me	2,47	0,00	2,36	0,11	100 %
	%	100	0	96	4	

Commentaires :

a) Pour la même période d'incubation (19 semaines) la proportion de Mn éch. transformé est beaucoup plus forte pour le Mull que le Moder, respectivement pour chaque traitement.

b) Quelle que soit la litière, la microflore de l'humus Mull transforme le Mn^{++} à 68 % et 96 % en Mn f.r. respectivement pour la litière de sapin et hêtre. Tandis que, chez le Moder seul le Mn de la litière de hêtre est transformé à 85 % en Mn f.r., le Mn de la litière de sapin étant conservé sous forme Mn éch. surtout.

c) La litière de hêtre se différencie de celle du sapin en favorisant plus particulièrement le Mn f.r. lors de la transformation du Mn des litières. (96 % chez le Mull+Hêtre et 85 % chez le Moder+Hêtre).

d) Les pourcentages de Mn lessivé par rapport au Mn actif (Mn éch. + Mn f.r.) à 120 % H.E. nous donnent : 1,25 %, 0,29 %, 0,46 % et 0,45 % respectivement pour le Moder+Sapin, Moder+Hêtre, Mull+sapin et Mull+Hêtre, les valeurs absolues étant en moyenne 0,047, 0,014, 0,025 et 0,031 me. Donc le lessivage le plus important a lieu chez le Moder+sapin où le Mn de la litière est conservé sous forme de Mn éch.

2422 - Effet de l'hygropériodisme -

Les phénomènes observés chez les incubations à 120 % H.E. se retrouvent chez les incubations ayant subi l'hygropériodisme, mais ce dernier a modifié les résultats.

Il semble probable que les phénomènes qui ont lieu à 120 % H.E. se produisent durant la phase humide de l'hygropériodisme. Nous ferons donc la

comparaison entre les résultats d'incubation à 120 % H.E. et ceux des incubations ayant subi l'hygropériodisme.

TABEAU II - 30 Gains et Pertes, dûs à l'effet d'hygropériodisme, des différentes formes de Mn.

Traitements	Mn f.r. perte me	après I9 semaines →	Mn éch. gain me	+ Mn n.e. gain me
Mull +sapin	1,21 (1)		0,88 (0,73)	0,31 (0,27)
Mull +Hêtre	0,54 (1)		0,37 (0,69)	0,17 (0,31)
Moder+Hêtre	1,11 (1)		0,52 (0,47)	0,59 (0,53)
Traitements	Mn éch. perte me	après I9 semaines →	Mn f.r. gain me	+ Mn n.e. gain me
Moder+sapin	0,61 (1)		0,12 (0,20)	0,49 (0,50)

Commentaires :

1) Comme dans le cas des traitements $MnSO_4$ et MnO_2 , chez le Mull, l'hygropériodisme provoque la dismutation du Mn f.r. existant chez le Mull+sapin Mull-Hêtre et Moder+Hêtre. Tandis que chez le Moder+sapin l'hygro-périodisme accentue l'oxydation diminuant ainsi la quantité de Mn éch.

2) Chez le Mull+sapin et Mull+hêtre les proportions en Mn éch. et Mn f.r. obtenues par la dismutation du Mn f.r. sont semblables à celles des autres traitements chez le Mull. Par contre la dismutation du Mn f.r. chez le Moder+Hêtre donne des proportions 0,47 et 0,53 respectivement pour Mn éch. et Mn n.e. pour une unité de Mn f.r. Donc la forme Mn n.e. est favorisée chez le Moder+Hêtre comme chez le Moder+sapin.

2423 - Conclusion -

Des incubations enrichies en litière nous tirons les grandes lignes suivantes :

1) La transformation du Mn des litières se fait plus rapidement chez le Mull que le moder respectivement pour chacune des litières (tableau II - 29)

2) Le Mull quelle que soit la litière transforme le manganèse de celle-ci en Mn f.r. Tandis que le Moder est influencé par le type de litière et favoriserait une conservation du Mn^{++} des litières ou la forme Mn n.e. (cas de l'hydropériodisme).

3) Lors de l'hydropériodisme le Mn éch. chez le Mull+sapin et Mull+hêtre s'accroît de 137 % et 209 % à 120 % H.E. Tandis que chez le Moder Hêtre il s'accroît de 65 % la forme Mn n.e. étant favorisée et chez le Moder sapin il diminue de 17 % toujours par rapport au régime à 120 % H.E.

4) La litière de hêtre donne au Moder un comportement semblable au Mull.

2424 - Conséquences pratiques -

Si nous transposons ces observations sur le terrain en tenant compte du cycle des saisons nous savons que pour l'humus Moder toutes les observations convergent vers un faible taux de Mn éch. : (1) son pouvoir d'oxydo-réduction du Mn étant bas celui-ci favorise le lessivage du Mn des litières (2) la litière prédominante chez la station à humus moder est celle du sapin qui, comme nous l'avons vu, ne favorise pas la formation de Mn f.r., mais plutôt de Mn n.e. et la conservation du Mn^{++} (celui-ci pouvant être lessivé ROBICHET -1957) (3) de ces deux premiers il en découle un faible taux de Mn éch. dans l'humus Moder qui se reflète sur la composition foliaire dont le taux en Mn est d'environ 0,05 % pour le sapin (4) en période d'hydropériodisme c'est à dire estivale le taux de Mn éch. diminue par une plus grande efficacité de la microflore oxydante, protégeant ainsi le semis de sapin d'une intoxication possible par le Mn.

Chez le Mull nous avons l'inverse : (1) un pouvoir d'oxydoréduction du Mn plus efficace, dû à la microflore, diminuant ainsi les chances de lessivage. (2) surtout que la forme prédominante du Mn est celle du Mn f.r. dont les possibilités de lessivage sont sûrement moindres que celles du Mn éch. (3) la preuve en est l'accumulation du Mn f.r. comme l'analyse d'humus Mull de sapinière à

hêtre le démontre bien :

TABLEAU II - 37 Mn éch. et Mn f.r. chez quelques Humus Mull

Forêts	Parcelles	Description	Mn éch. %	Mn f.r. %
Mortagne	5I	Sapinière à Hêtre	0,324	9,57
"	5I	Sapinière à hêtre	0,262	2,95
Mortagne	49	Sapinière à hêtre	0,245	5,20
"	49	Sapinière à hêtre	0,422	3,92
Ban d'Etival	3	Sapinière à hêtre	0,230	7,53
Badonviller		Sapinière à hêtre	0,140	3,30

4) Ce qui est le plus important c'est l'effet d'hygroperiodisme sur le Mn f.r. Alors que l'évaporation de l'eau de l'humus concentre la solution de celui-ci, le Mn f.r. se dismute pour donner à 75 % du Mn éch. qui vient augmenter à son tour la concentration en Mn éch. de l'Humus. D'où le danger d'intoxication plus probable en période sèche des semis de sapin.

Citons ici une expérience faite par VEDY en 1964 sur la décomposition de litière de fétuque, myrtille et callune inoculée par la microflore des humus Mull, Moder et Mor respectivement et laissée à la décomposition sur un substratum identique.

VEDY a obtenu les résultats suivants ;

TABLEAU II - 32 Pertes des litières et gains du substratum en Mn après décompositions (VEDY 1964)

Litière	Perte en Mn des litières %	Mn dans les percolats (eau) %	Mn éch. dans les substratum %	déficit
Fétuque	24,9	2,3	27,6	70,1
Myrtille	38,5	6,7	91,2	2,1
Callune	5,6	13,3	91,2	0

Nous voyons que la litière de fétuque inoculé par une suspension microbienne de l'humus Mull nous donne un déficit en Mn de 70,1 % des pertes de la litière. Donc nous pouvons avancer l'hypothèse que le Mn^{++} de la litière a été transformé en Mn f.r. non soluble et non échangeable.

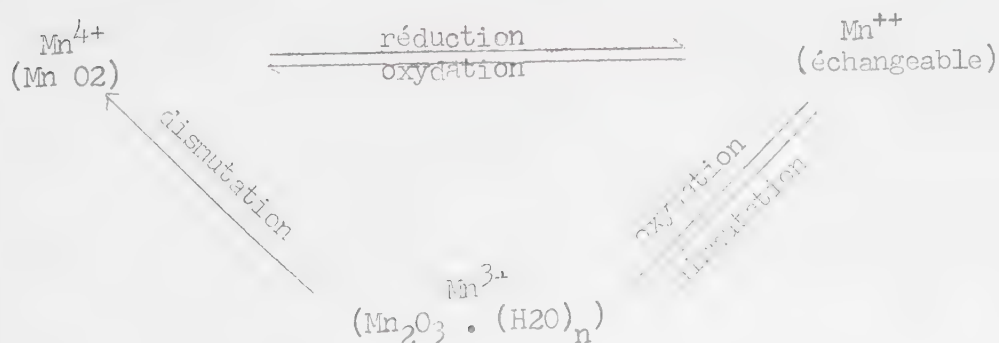
De plus toutes proportions gardées des Pertes en Mn des litières, nous constatons que le lessivage est supérieur chez la Myrtille et Callune comparé à la fétuque

243 - Hypothèse sur le Mn f.r.

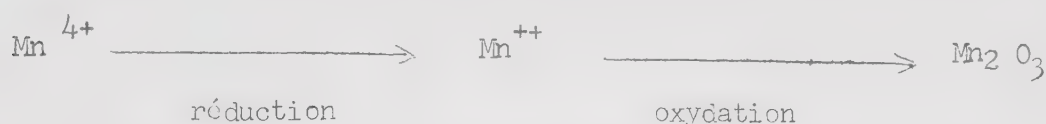
2431 - Hypothèse sur le mécanisme d'apparition du Mn facilement réti

a) D'après STARNEY (1955) le cycle du Mn établi en prenant comme base les travaux de MANN et QUASTEL (1946) et retenu par POCHON et LE BARJAC (1958) serait :

TABLEAU II - 33 Cycle du Mn d'après STARKEY (1955) -



Beiserinck (1913) a démontré que des bactéries et champignons isolés du sol oxydaient le carbonate manganoux ($MnCO_3$) en un précipité brun noir d'oxyde manganique (Mn_2O_3). Nous avons vu que le Mn soluble des milieux de culture liquides avait été précipité en partie et que le MnO_2 par contre avait été réduit. Cette réduction étant mise en évidence par les halos de dissolution obtenus autour de colonies bactériennes isolées sur un milieu gélosé enrichi en MnO_2 et citrate de calcium. De plus l'enrichissement en MnO_2 des Humus Mull et Moder nous a donné du Mn f.r. d'où l'évolution suivante :



est possible comme le préconise le cycle du Mn mentionné plus haut.

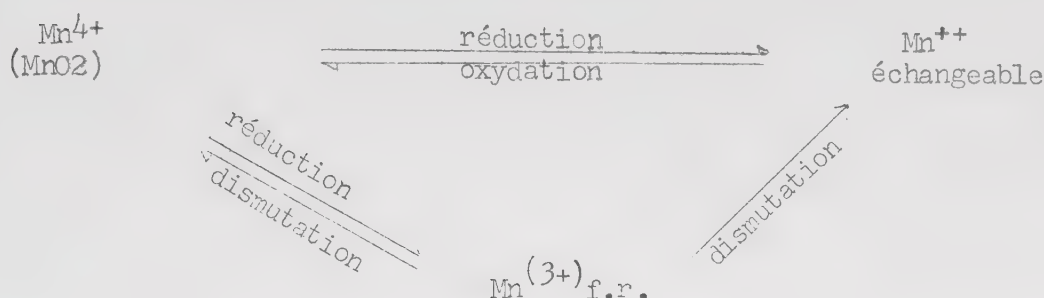
b) Comparons les résultats obtenus des traitements chez le Mull à 120 % H.E. d'après les tableaux II-25, II-26, II-29. Il est surprenant de constater que les résultats des trois formes de Mn (éch., f.r., n.e.) soient très semblables dans le cas des traitements Mull+sapin, Mull+hêtre et Mull+ MnO_2 . Tandis que les résultats du Mull+ $MnSO_4$ semble être intermédiaire. Nous savons qu'au départ le Mn des litières est bivalent et donc comparable au $MnSO_4$; par contre les résultats après incubation laissent croire que le Mn des litières se comporte comme le Mn^{4+} du traitement Mull+ MnO_2 . D'où l'hypothèse que le Mn des litières soit oxydé sous forme Mn^{4+} dans une première phase avec dégagement d'énergie utilisée par une microflore manganoxydante autotrophe, comme observé en milieu de culture pure liquide, enrichi en $MnSO_4$, et chez le traitement Mull+ $MnSO_4$ où le Mn est transformé surtout en Mn n.e. (voir tableau II-26).

Dans une seconde phase le Mn^{4+} serait réduit surtout en Mn f.r. et très peu en Mn^{2+} soit par une microflore réductrice oxydant la matière organique

ou chimiquement dû à une basse tension en O_2 . Cependant la réduction biologique semble plus plausible d'après les études en milieu de culture liquide où on obtient une réduction du MnO_2 malgré un pH excédant 7,0.

Cette dernière hypothèse nous suggère une modification au cycle du Mn qui serait dans notre cas :

TABIEAU II - 34 - Cycle du Mn modifié -



Mais pourquoi dans le cas du Moder-sapin et Moder- $MnSO_4$ l'oxydation du Mn^{2+} est très faible et la réduction du Mn^{4+} ou $Mn_{n.e.}$ inexistante. (1) Nous avons vu que le pouvoir oxydant de la microflore du moder vis à vis du Mn^{2+} est une demie fois moins important que chez le mull ; de plus la différence d'évolution du Mn des litières entre le ~~moder~~-sapin et le ~~moder~~-hêtre, suggère une influence du type de matière organique à minéraliser sur le devenir du Mn. Notons que même chez le mull la litière de sapin donne un rendement moindre que la litière de hêtre en regard de la production du Mn f.r. (2) L'inexistence de la réduction du Mn n.e. en Mn f.r. ou l'inexistence du Mn f.r. quelle que soit son origine, serait un caractère propre à la microflore de l'humus moder.

Ainsi le Mn des litières incorporées au Mull évoluerait en 2 phases principales :



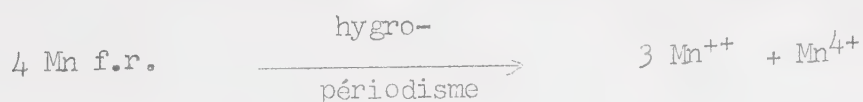
2432 - Produits de la dismutation du Mn f.r.

a) La dismutation du Mn f.r. chez les cinq traitements du Mull nous a donné les proportions suivantes pour l'unité de Mn f.r. : (d'après les Tableaux II-27 et II-30).

TABLEAU II - 35 - Proportions du Mn éch. et Mn n.e. obtenues de la dis-
mutation 1 unité de Mn f.r.

Traitement	Mn f.r.	hygro- → périodisme	Mn éch.	+ Mn n.e.
Mull-sapin	I		0,73	0,27
Mull-hêtre	I		0,69	0,31
Mull-MnSO ₄	I		0,75	0,25
Mull-MnO ₂	I		0,71	0,29
Mull(témoin)	I		0,76	0,24
Moyenne	I		0,73	0,27

Si nous assimilons Mn éch. à Mn⁺⁺ et Mn n.e. à Mn⁴⁺ nous avons une réaction de dismutation dans les proportions approximatives suivantes :

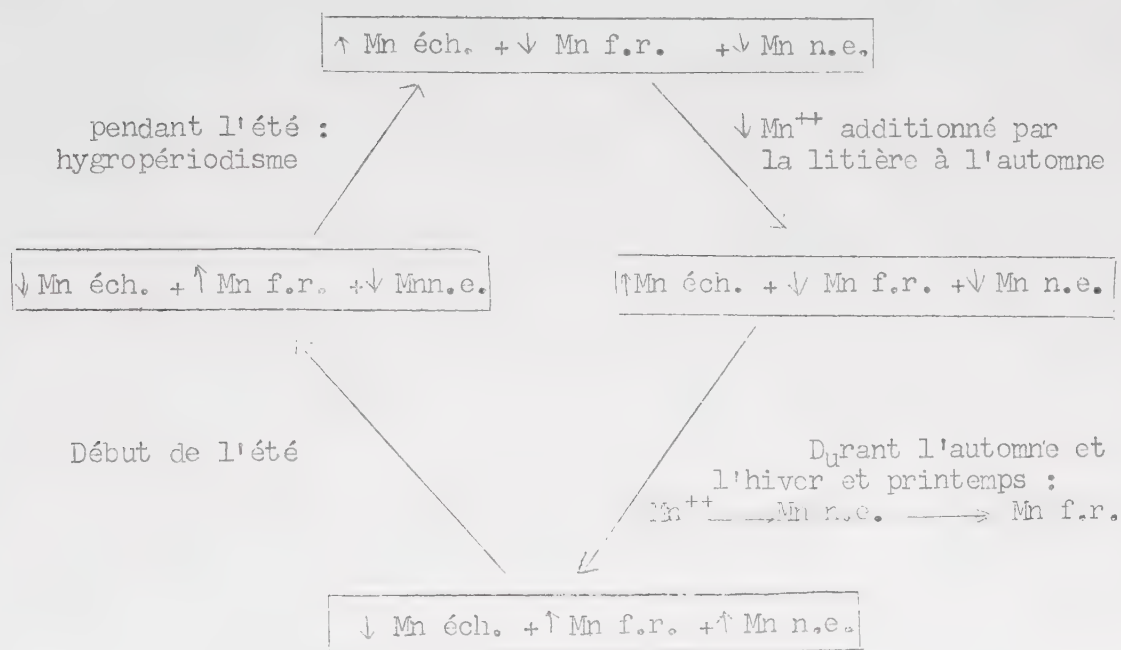


Donc l'hydropériodisme favorise la production de Mn²⁺ d'où augmentation possible du Mn échangeable chez les Mull de sapinière pendant la période estivale.

2433 ~ Evolution annuelle de la concentration des formes du Mn chez le Mull de la sapinière -

Si nous faisons intervenir l'influence des saisons, en période estivale les alternances de sécheresse et de pluie très fréquentes dans les Vosges agissent comme l'hydropériodisme. L'évolution suivante est donc possible dans la sapinière à hêtre :

TABIEAU II - 36 - Evolution des formes du Mn chez la sapinière à Humus Mull -



Légende : ↑ accroissement de la concentration

↓ diminution de la concentration

25 - RESULTATS ET INTERPRETATIONS RAPIDES DES ANALYSES MICROBIOLOGIQUES
AU COURS DE L'INCUBATION -- EVOLUTION DES COMPOSES HUMIQUES -

25I - Notes techniques sur les résultats -

1) Tous les résultats ont été calculés par rapport à un gramme de carbone dans le mélange, à la fin de l'expérience.

2) Les résultats à 0 jour d'incubation sont basés sur les analyses microbiologiques des humus purs, fraîchement recueillis en forêt, et rapportés aux grammes de carbone dans les mélanges à la fin de l'expérience

Exemple de calcul :

Microflore totale par gramme d'humus Mull = 630×10^4

% de C dans l'humus Mull à la fin de l'expérience = 3,14 %

% de C dans le mélange Mull+Sapin à la fin de l'expérience = 7,00 %

d'où la microflore totale de l'humus Mull = $\frac{630 \times 10^4}{,0314} = 203 \times 10^6$

La microflore totale du mélange Mull+sapin : $\left(\frac{630 \times 10^4}{07} = 90 \times 10^6 \right)$

Ce dernier chiffre correspond à la réalité car l'addition de litière correspond à une dilution.

L'erreur attribuable à l'utilisation du taux de carbone à la fin de l'expérience est positive. C'est à dire que les résultats du début et pendant l'expérience sont un peu plus forts que la réalité si l'on considère qu'il y a perte de carbone au cours de l'expérience.

3) L'hydropériodisme a débuté après le 13ème jour d'incubation.

TABLERAU II - 37 % Humidité des traitements lors des analyses microbiologiques : % par rapport au sol séché à 105° C -

Traitements	Régimes d'humidité	Jours d'incubation				
		0 %	13 %	44 %	80 %	121 %
Mull+sapin	120 % H.E.	-	33,9	48,0	45,9	50,2
	Hyg. pér.	-	33,9	7,5	4,2	4,8
Mull+hêtre	120 % H.E.	-	33,5	62,0	53,5	63,9
	Hyg. pér.	-	33,5	11,5	5,0	9,3
Mull	120 % H.E.	42,3	-	30,4	30,4	32,6
	Hyg. pér.	42,3	-	2,3	2,4	2,4
Moder+sapin	120 % H.E.	-	59,1	108,0	109,7	131,8
	Hyg. pér.	-	59,1	15,0	8,0	34,8
Moder+Hêtre	120 % H.E.	-	56,1	122,0	95,5	111,7
	Hyg. pér.	-	56,1	19,0	10,6	22,4
Moder	120 % H.E.	77,1	-	72,0	66,0	77,0
	Hyg. pér.	77,1	-	6,9	5,6	5,5

N.B. : Les humidités manquant à 0 jour sont dues au fait que les analyses n'ont pas été faites mais calculées d'après les humus purs (voir page précédente).

252 - Evolution de la microflore totale des traitements au cours de l'incubation

a) Résultats -

TABLERAU II - 38 Résultats des comptages de la microflore totale en millions de microorganismes -

Traitements	Régimés d'humidité	Jours d'incubation				
		0	13	44	80	121
Mull+sapin	I20 % H.E.	90	871	146	1857	3843
	Hyg. pér.	90	871	125	388	1977
Mull+hêtre	I20 % H.E.	92	2120	1613	1653	2018
	Hyg. pér.	92	2120	371	1889	1771
Mull	I20 % H.E.	203	-	0,5	70	237
	Hyg. pér.	203	-	1,3	172	1448
Moder+sapin	I20 % H.E.	14	38	581	888	2652
	Hyg. pér.	14	38	71	83	664
Moder+hêtre	I20 % H.E.	16	336	727	512	2019
	Hyg. pér.	16	336	219	423	1366
Moder	I20 % H.E.	21	-	0,01	31	597
	Hyg. pér.	21	-	0,08	5,3	301

Légende : I20 % H.E. = I20 % de l'humidité équivalente du mélange
Hyg. pér. = Hygropériodisme

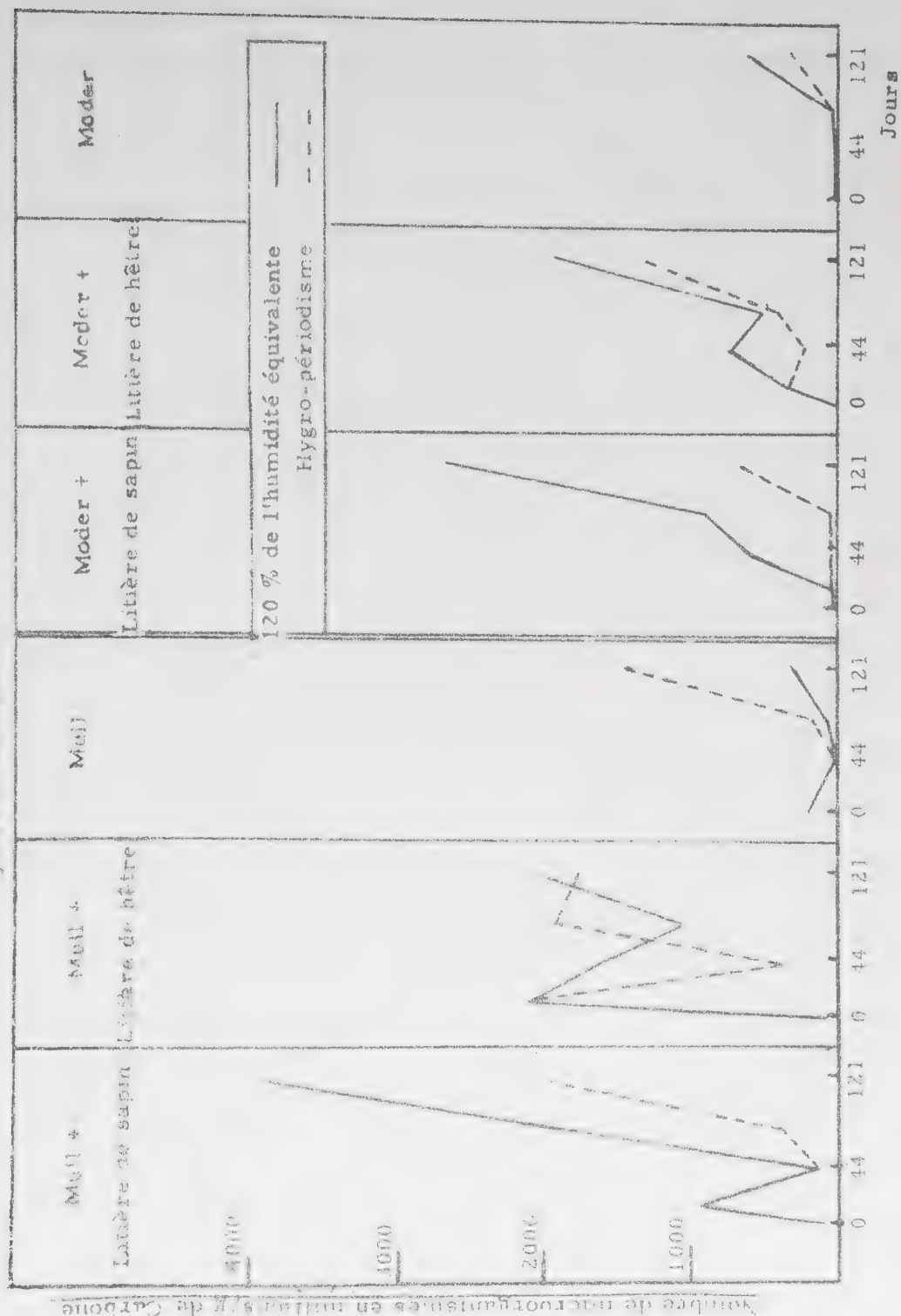
b) Graphique des résultats -

voir page suivante -

c) Commentaires :

- 1) La microflore totale est supérieure en nombre chez les traitements du Mull, règle générale quel que soit le régime d'humidité pour un même traitement.
- 2) L'évolution de la population chez le Mull+sapin, Mull+hêtre est semblable au moder-hêtre (suite page suivante)

Graphique II-15 Evolution de la population microbienne totale des traitements d'humus Mull et Moder pendant 121 jours d'incubation.



tout en étant différente numériquement, la courbe passant par un maximum et minimum tandis que la population du Moder-sapin s'accroît progressivement. Notons que l'évolution du Mn chez le Moder+hêtre était semblable à celle du Mull+sapin et Mull+hêtre.

3) Le passage par un maximum et un minimum des microflore du Mull+sapin, Mull+hêtre et Moder+hêtre peut s'expliquer par la succession de 2 microflore différentes.

4) Sauf pour le Mull, l'hygropériodisme ralentit le développement de la microflore totale, les analyses ayant lieu durant la phase sèche.

253 - Evolution de la microflore fongique des traitements au cours de l'incubation -

a) Résultats -

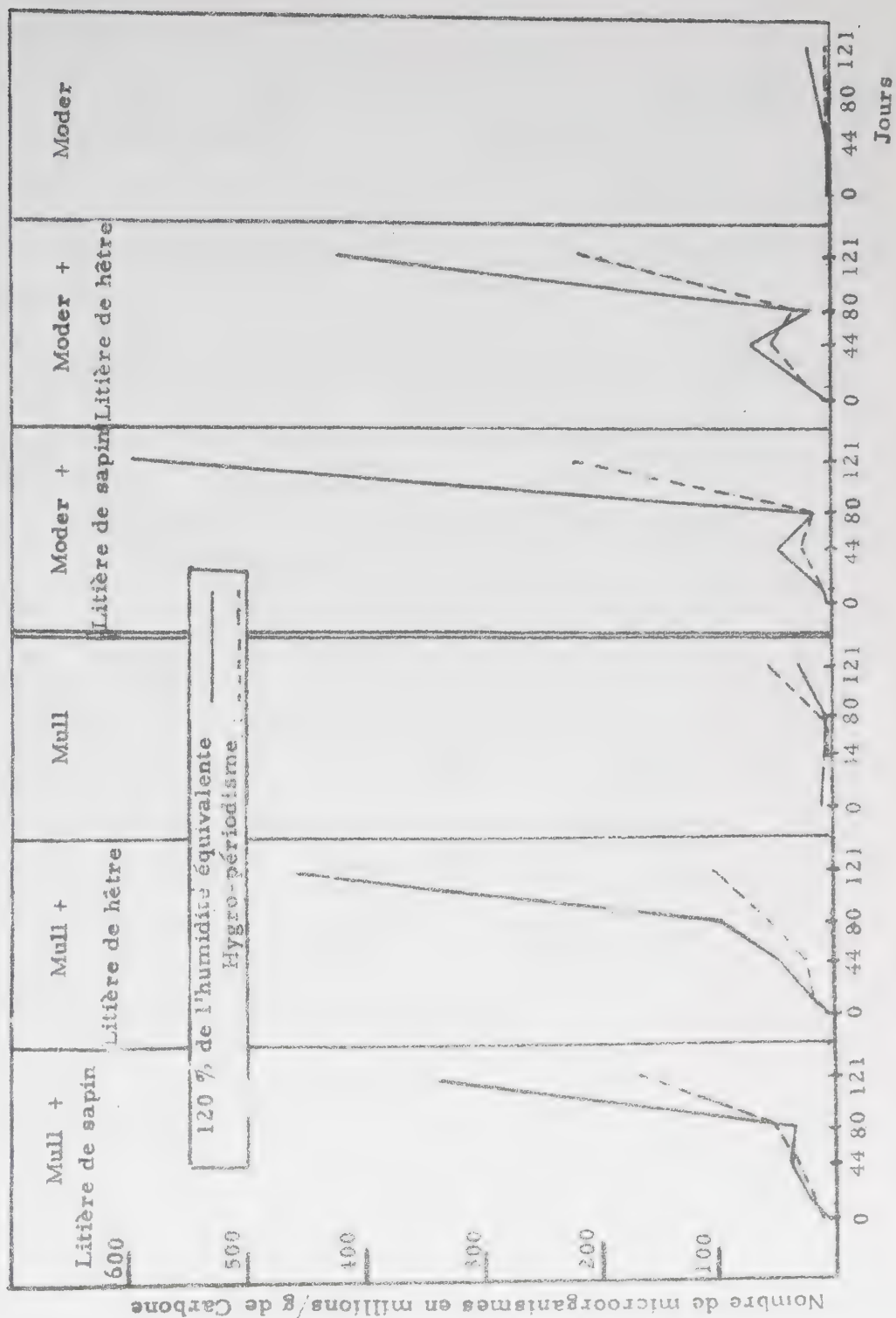
TABIEAU II - 39 Résultats des comptages de la microflore fongique en millions de microorganismes -

Traitements	Régimes d'humidité	Jours d'incubation				
		0	13	44	80	121
Mull+sapin	120 % H.E.	4,6	17,0	37,1	31,4	335,7
	Hyg. pér.	4,6	17,0	33,5	54,3	166,7
Mull+hêtre	120 % H.E.	4,7	17,5	46,3	93,6	460,5
	Hyg. pér.	4,7	17,5	28,2	0,59	104,6
Mull	120 % H.E.	10,4	-	4,3	3,5	25,5
	Hyg. pér.	10,4	-	0,68	10,0	65,5
Moder+sapin	120 % H.E.	2,0	10,2	47,1	13,8	590,8
	Hyg. pér.	2,0	10,2	25,8	18,3	221,1
Moder+hêtre	120 % H.E.	2,2	20,3	68,3	17,6	419,8
	Hyg. pér.	2,2	20,3	51,5	33,6	214,8
Moder	120 % H.E.	3,0	-	1,4	11,1	16,6
	Hyg. pér.	3,0	-	0,41	0,26	6,0

b) Graphique des résultats -

Voir page suivante.

Graphique II-16 Evolution de la population fongique des traitements d'humus Mull et Moder pendant 121 jours d'incubation.



c) Commentaires -

1) La population fongique est légèrement supérieure chez le Moder+sapin, tandis qu'elle reste très comparable entre les autres traitements.

2) Sauf pour le Mull, l'hygropériodisme a pour effet de ralentir le développement de la population fongique car dans notre cas les analyses microbiologiques avaient lieu durant la phase sèche.

254 - Evolution de la population d'actinomycète des traitements au cours de l'incubation -

a) Résultats -

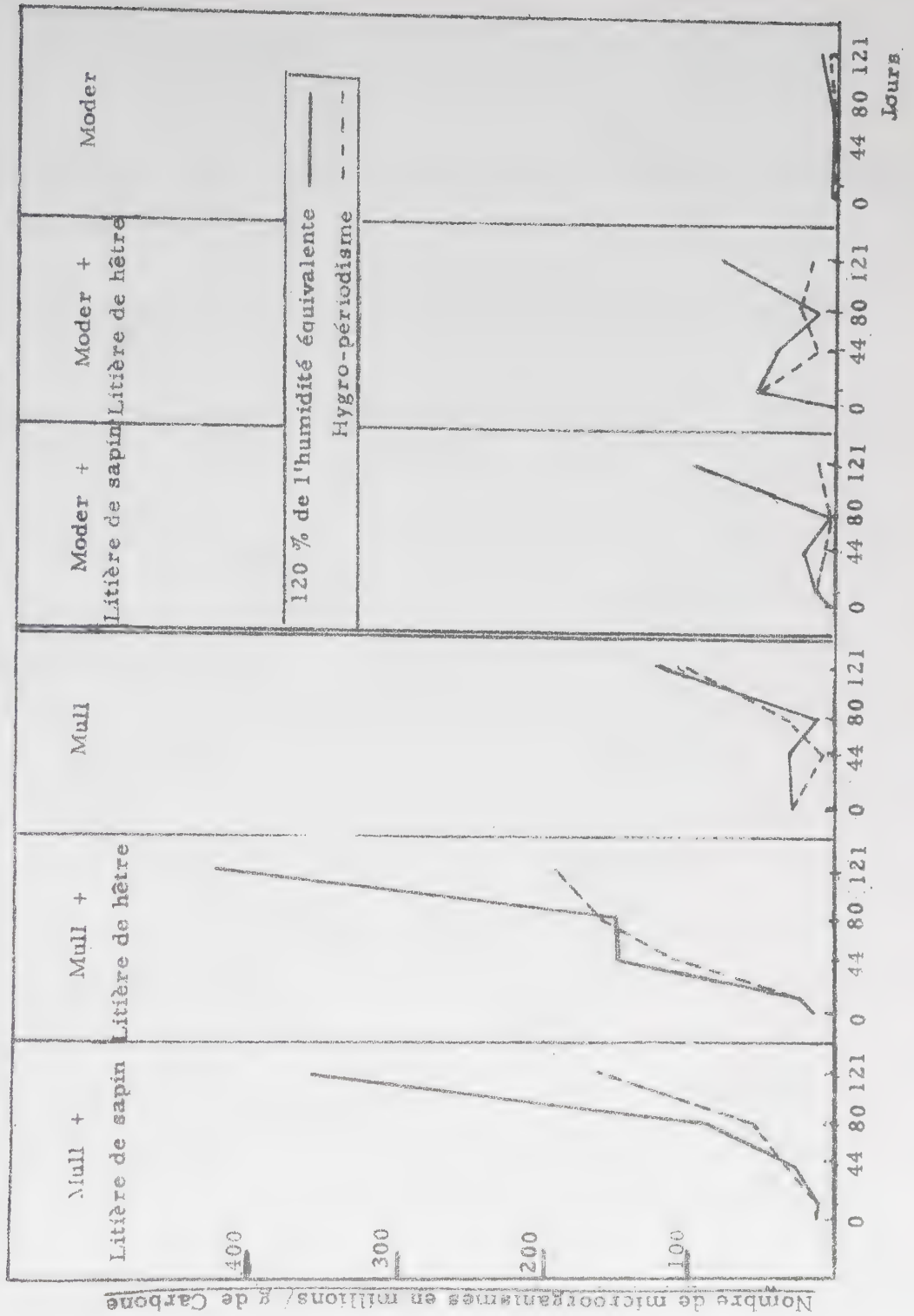
TABLEAU II - 40 Résultats des comptages d'actinomycètes en millions de microorganismes -

Traitements	Régimes d'humidité	Jours d'incubation				
			13	44	80	121
Mull+sapin	120 % H.E.	144	126	293	871	3500
	Hyg. pér.	144	126	319	543	1550
Mull+hêtre	120 % H.E.	148	249	1477	1520	4240
	Hyg. pér.	148	249	1112	1602	1922
Mull	120 % H.E.	321	-	331	134	1178
	Hyg. pér.	321	-	79	341	1034
Moder+sapin	120 % H.E.	21	135	231	44	951
	Hyg. pér.	21	135	87	52	157
Moder+Hêtre	120 % H.E.	24	542	399	121	783
	Hyg. pér.	24	542	117	244	179
Moder	120 % H.E.	32	-	14	40	106
	Hyg. pér.	32	-	0,4 5	23	38

b) Graphiques des résultats -

Voir pages suivantes

Graphique II-17 Evolution de la population d'actinomycètes des traitements d'humus Mull et Moder pendant 121 jours d'incubation.



c) Commentaires -

- 1) La population d'actinomycètes est de beaucoup supérieure chez les traitements du Mull.
- 2) Sauf pour le Mull (témoin) l'hygropériodisme ralentit le développement de la population d'actinomycètes.

255 - Evolution de la microflore minéralisant et précipitant le fer des traitements au cours de l'incubation -

- a) Résultats des comptages à 14 jours de la minéralisation et précipitation

Voir page 126

b) Graphiques des résultats -

Voir pages 127 - 128.

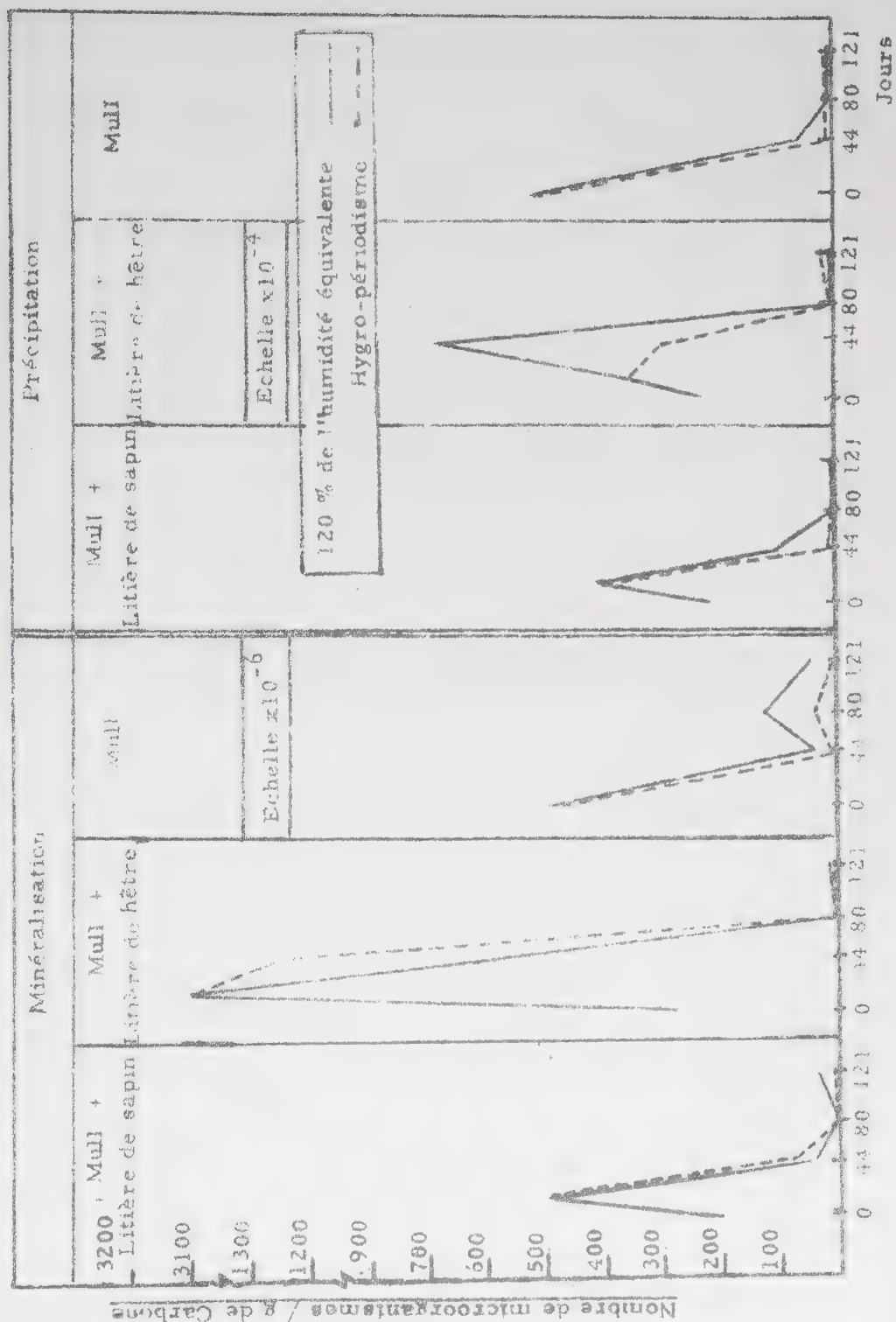
c) Commentaires -

- 1) Notons la forte ressemblance dans l'allure générale des courbes d'évolution de la microflore précipitant le fer pour les traitements mull+sapin, mull+hêtre et moder+hêtre. Rappelons que le Mn des litières a subi la même évolution dans ces traitements avec la dominance du Mn facilement réductible.
- 2) Les auteurs admettent la substitution possible du Mn au fer pour quelques espèces de microorganismes. Cette substitution est possible dans notre cas dû au fort taux de Mn dans les litières (POCHON et DE BARJAC 1958).
- 3) Chez les traitements du Moder, l'hygropériodisme ralentit le développement de la microflore, minéralisant et précipitant le fer. Tandis que chez les traitements du Mull, il y aurait stimulation de la microflore minéralisant le fer et inhibition de la microflore précipitant le fer.
- 4) La litière de hêtre stimule la microflore minéralisant et précipitant le Fer plus que la litière de sapin quel que soit l'humus.

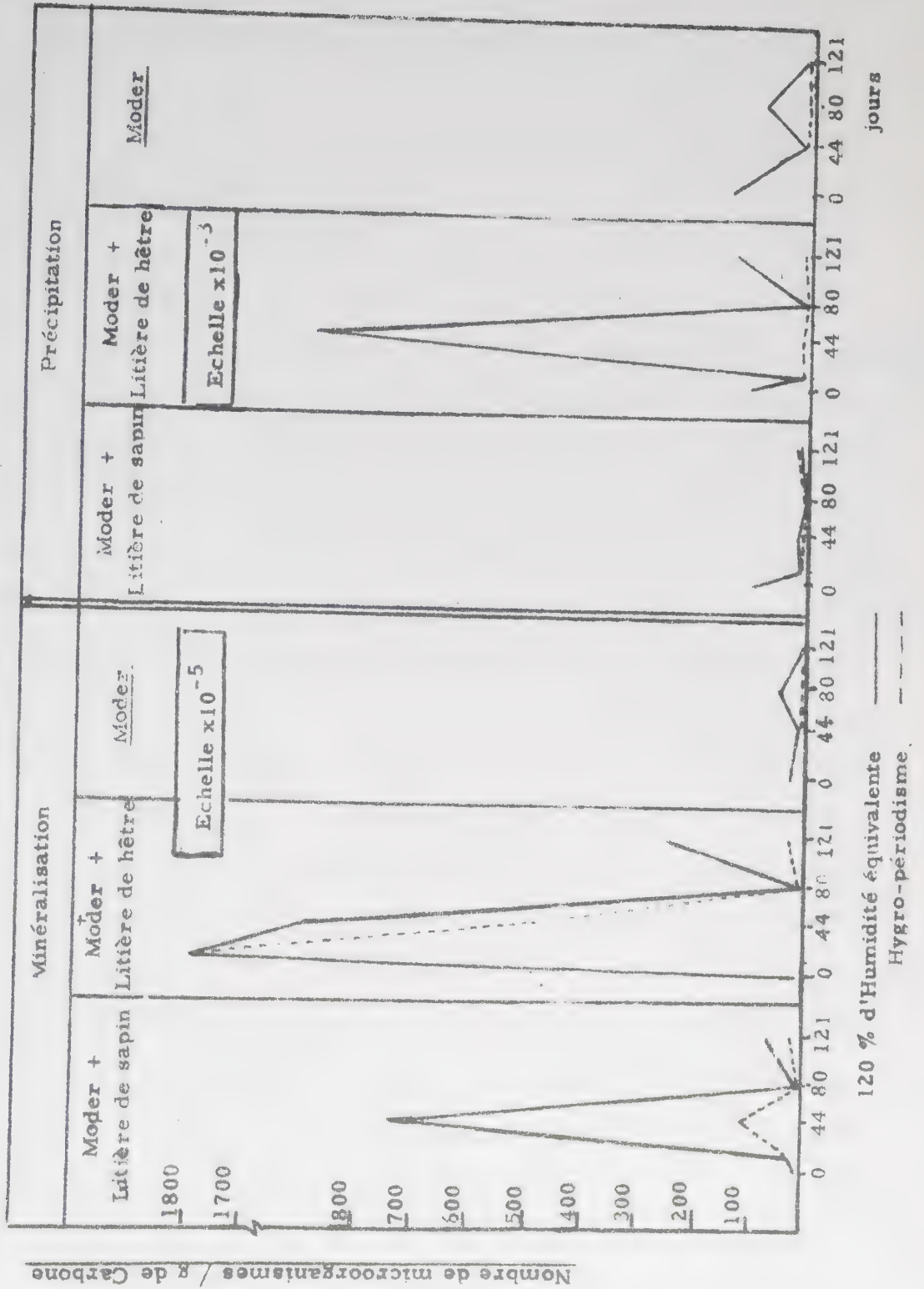
TABLEAU II-41 - Résultats des comptages à 14 jours de la microflore minéralisante et précipitant le fer.
Minéralisation : résultats x 10⁻⁵
Précipitation : résultats x 10⁻⁴

Traitements	Régimes d'humidité.	Comptages à 14 jours											
		Minéralisation						Précipitation					
		Jours d'incubation						Jours d'incubation					
		0	13	44	80	121	0	13	44	80	121		
Mull+Sapin	120% HE Hyg. pér	2185	4971	433	5,6	386	219	411	97	0	2,0		
		2185	4971	724	10	48	219	411	11	0	7,4		
Mull+Hêtre	120% HE Hyg. pér	2235	3140	6038	1,5	152	224	351	575	0	7,5		
		2235	3140	12553	5,2	133	224	351	233	0	23		
Mull	120% HE Hyg. pér	4872	-	352	122	45	487	-	59	12	5,0		
		4872	-	55328	328	24	487	-	7,2	8,8	7,7		
Moder+Sapin	120% HE Hyg. pér	15	22	889	7,4	65	10	0,4	1,8	0	0,97		
		15	22	483	0	16	10	0,4	0,2	0	1,7		
Moder+Hêtre	120% HE Hyg. pér	17	1798	736	0,04	240	11	9	89	0	13		
		17	1798	114	0	20	11	9	0,8	0	0,98		
Moder	120% HE Hyg. pér	23	0	7	45	1,3	15	-	1,5	8,8	0,75		
		23	0	0,42	2	0,6	15	-	1,1	0,34	0,40		

Graphique II-18 Evolution de la population minéralisant et précipitant le Fer
des traitements du Mull pendant 121 jours d'incubation.
Comptage à 14 jours.



Graphique II-19 Evolution de la population minéralisant et précipitant le Fer des traitements du Moder pendant 121 jours d'incubation Comptage à 14 jours.



256 -- Résultats des analyses des acides humiques des traitements -

a) Résultats -

Voir tableau II - 42)

b) Graphiques des résultats -

Voir graphiques II - 20 et II - 21)

c) Commentaires .

- 1) D'après les échantillons témoins des humus, l'incubation stimule la production d'acides humiques et fulviques beaucoup plus fortement chez les moder que chez les mull. L'hydropériodisme ralentit la production d'acides humiques chez les moder, par contre, il stimule la production d'acides fulviques chez le mull.
- 2) Comparée aux témoins l'adjonction de litières au mull stimule légèrement la production d'acides humiques et fulviques mais pratiquée sur le moder, elle freine la production d'acides humiques mais stimule la production d'acides fulviques.
- 3) La litière de hêtre favorise la formation d'acides humiques contrairement à celle du sapin qui favorise les acides fulviques.
- 4) Les acides humiques gris sont en plus fortes proportions dans les traitements du mull tandis que les bruns et intermédiaires dominent dans les traitements du moder quelle que soit la litière.
- 5) L'hydropériodisme a pour effet de ralentir la formation d'acides humiques et fulviques, ce ralentissement étant plus fort chez le Moder que chez le Mull. D'ailleurs, G. BOQUEL et M.J. KAUFFMAN, dans une étude sur l'hydropériodisme, signalent que celui-ci freine la formation de l'humus.

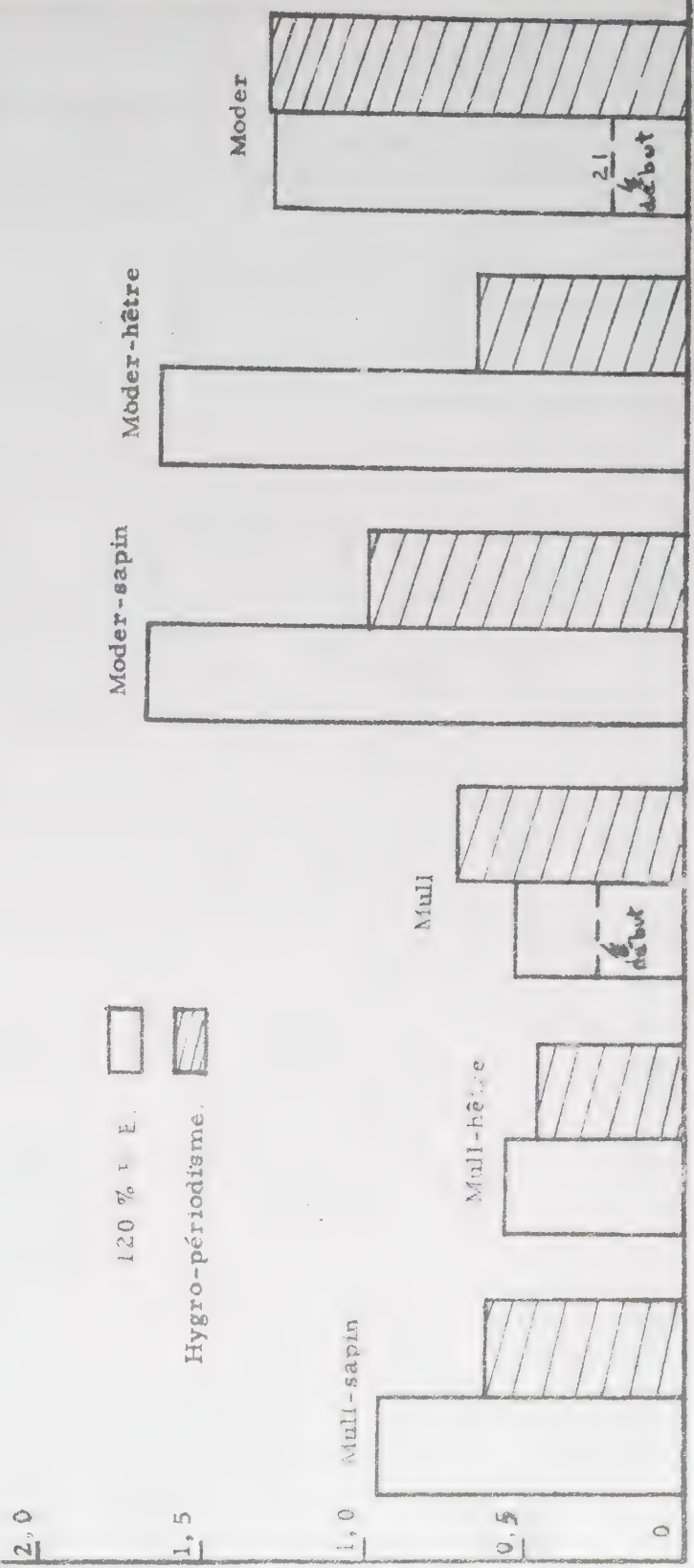
TABLEAU II - 42 - Résultats des analyses d'acides humiques des traitements

R. H.	Traitements	Carbone % gr.	A.F. % gr.	Acides humiques			Acides humiques		
				Ext. 1-2 % gr.	Ext. 3-4 % gr.	Total % gr.	Brun % total	Inter. % total	Gris % total
120% H. E.	Null+Sapin	7,00	0,95	0,42	0,35	0,78	9,5	17,7	72,8
	Null+Hêtre	5,81	0,57	0,37	0,23	0,60	8,0	32,6	59,4
	Null	3,11	0,53	0,37	0,18	0,55	7,8	42,0	50,2
	Moder+Sapin	22,91	1,59	1,15	0,95	2,11	37,3	43,2	19,0
	Moder+Hêtre	19,91	1,55	1,37	1,09	2,46	42,1	38,0	19,9
	Moder	15,08	1,30	2,00	1,55	3,55	45,4	30,8	22,8
Hyg. pér.	Null+Sapin	7,72	0,52	0,35	0,28	0,63	20,7	30,1	49,2
	Null+Hêtre	5,93	0,45	0,28	0,17	0,45	32,0	25,5	41,5
	Null	3,90	0,71	0,38	0,15	0,53	-	-	-
	Moder+Sapin	22,99	1,00	0,91	0,85	1,77	55,5	24,6	9,8
	Moder+Hêtre	16,77	0,55	0,90	0,58	1,58	55,9	31,5	12,5
	Moder	13,50	1,31	1,45	0,73	2,19	47,7	30,7	21,5
Null au départ Moder au départ		3,10	0,28	0,30	0,15	0,45	43,2	42,0	13,8
		12,02	0,23	0,77	0,51	1,38	54,5	37,7	7,8

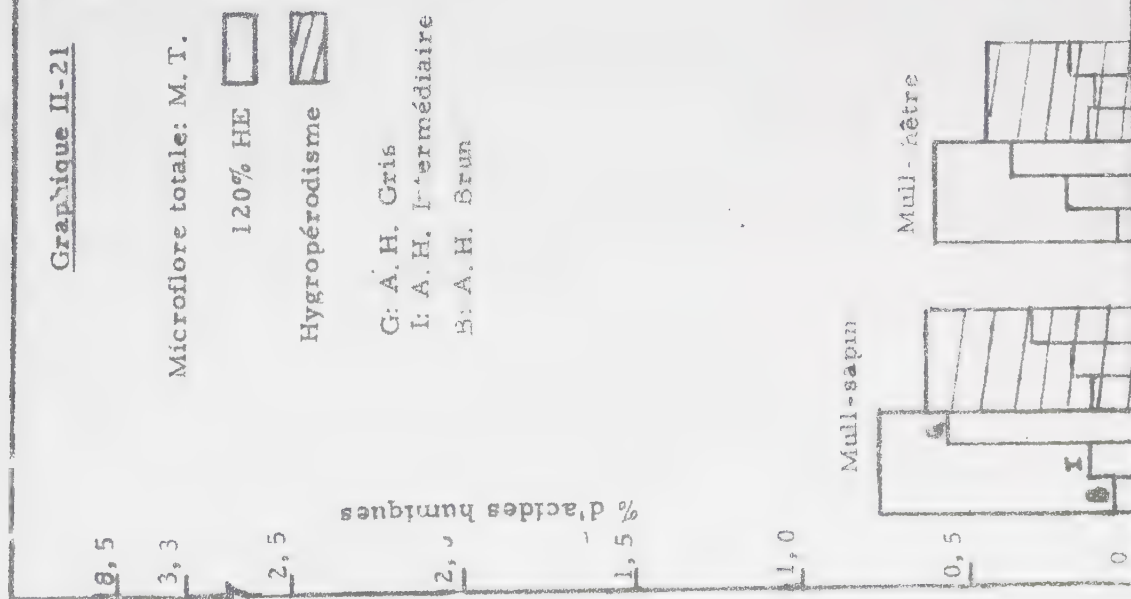
R. H. = Régime d'humidité
 Hyg. pér. = Hygro-péridisme
 Inter = Intermédiaires

120% H. E. = 120% de l'humidité équivalente
 A. F. = acides fulviques

Graphique II-20 Faux d'acide fulvique des traitements
de litière de sapin et de hêtre



Graphique II-21
Taux d'acides humiques des
fraitements de litière de sapin et hêtre



257 - Conclusion -

1) Comme dans le cas de l'évolution du Mn des litières, remarquons la grande ressemblance dans l'évolution de la microflore totale et ferrique (précipitation à 14 jours) des traitements Mull+sapin, Mull+hêtre et Moder+hêtre.

2) La litière de sapin ralentit le développement de la microflore fongique chez l'humus brun.

3) Règle générale, l'hygropériodisme freine en phase sèche le développement de la microflore (totale, fongique, d'actinomycète et ferrique), ainsi que la formation de l'humus. Il y a exception en ce qui regarde le développement de la microflore minéralisant le fer chez les traitements de l'humus Mull.

4) L'adjonction de litière de sapin et de hêtre, au mull augmente légèrement le processus d'humidification mais pratiquée sur le moder elle freine la production d'acides humiques et stimule la production d'acides fulviques.

5) La production d'acides humiques gris, intermédiaires et bruns est en grande partie indépendante des litières additionnées, ce caractère étant plutôt lié aux humus utilisés. Par contre, la litière de Hêtre favorise la formation d'acides humiques tandis que celle du Sapin favorise les acides fulviques quel que soit l'humus.

6) En ce qui regarde l'évolution de la microflore précipitant le fer dans le cas des traitements Mull+sapin, Mull+hêtre et Moder+hêtre, signalons la substitution possible du manganèse au fer pour quelques espèces ferrobactériennes. Dans notre cas, cette possibilité est d'autant plus plausible que nous sommes en présence de fort taux de Mn dans les litières. Donc l'oxydation du Mn pourrait se produire au début de l'incubation suivant les courbes d'évolution de la microflore ferrique.

Remarque : microflore ferrique signifie ici la microflore minéralisant et précipitant le Fer.

TROISIEME PARTIE

- BILAN DU CYCLE ANNUEL DU MANGANESE :
- LE PHENOMENE D'ALTERNANCE SAPIN - HETRE -

INTRODUCTION --

Nous avons vu dans la première partie que les aiguilles de sapin poussant sur Mull étaient très riches en Mn contrairement à celles de sapin poussant sur Moder. Il est donc intéressant de connaître le bilan des retombées en Mn des stations à Mull et Moder, et, d'après les résultats d'incubation, en établir les proportions en Mn échangeable et facilement réductible qui en résultera.

L'importance des retombées en Mn sur Mull nous incite à croire que cet élément peut être le ou l'un des facteurs clé dans le phénomène d'alternance de la sapinière à hêtre (Mull) et la hêtraie dans les Vosges.

3I -- BILAN DU CYCLE ANNUEL DU Mn --3II -- Retombées annuelles en litière de Hêtre et Sapin --

Le calcul des retombées de litières de Hêtre et Sapin a été fait en se basant sur des chiffres évalués pour les peuplements d'Epicea et de Hêtre en Allemagne par H. MAYER-KRAPOLL. Nous avons assimilé le Sapin à l'Epicea qui sont très comparables et le site I de la pessière à la sapinière à Hêtre, tandis que la sapinière à Moder est représentée par le site II.

Le site I d'un peuplement d'Epicea donne	4 150 Kg/ha/an
Le site II d'un peuplement d'Epicea donne	2 775 Kg/ha/an
et un peuplement de Hêtre donne	4 440 Kg/ha/an

Ce sont les moyennes pour toutes les classes d'âges des peuplements.

Dans les Basses-Vosges, la sapinière à Hêtre, due à l'intervention de l'Homme, a des proportions très variables de Hêtre. Par exemple, dans la forêt du Ban d'Etival, la proportion du Hêtre varie entre 25 % à 50 % ; dans la forêt de Celles-sur-Plaine, la proportion est de 6 %. Pour les besoins

de nos calculs, nous avons supposé les proportions suivantes :

Sapinière à Hêtre (humus Mull) : 25 % de Hêtre, 75 % de Sapin

Sapinière pure (humus Moder) : 5 % de Hêtre, 95 % de Sapin

Hêtraie pure (humus Moder) : 95 % de Hêtre, 5 % de Sapin

D'après ces proportions, les retombées en litière de Hêtre et Sapin sont :

TABIEAU II - 43 Retombées annuelles en litière de Hêtre et Sapin pour les sapinières et hêtraies

Peuplements	Litière de Hêtre kg/ha/an	Litière de Sapin kg/ha/an	Total kg/ha/an
Sapinière à Hêtre humus Mull	1 100	3 113	4 213
Sapinière pure humus Moder	220	2 646	2 866
Hêtraie pure humus Moder	4 180	139	4 319

312 - Retombées annuelles en manganèse par hectare -

a) L'analyse foliaire de Sapin et Hêtre sur humus Mull et Moder et pour les roche-mères à granite et grès nous donne en moyenne

TABIEAU II - 44 % de Mn dans les litières suivant l'humus et la roche-mère

Humus	Roche-mères	Hêtre % Mn	Sapin % Mn	Nombre d'échantillons	
				Hêtre	Sapin
Mull	granite	0,102	0,101	5	10
	grès	0,452	0,283	9	10
Moder	granite	0,072	0,017	5	10
	grès	0,121	0,053	2	10

De ces résultats, nous pourrions calculer l'apport annuel en Mn pour chacune des litières et respectivement pour chaque roche-mère et humus.

TABEAU II - 45 L'apport en Mn par les litières de Sapin et Hêtre

Peuplements et humus	Roche-mères	Litières		Total Mn kg/ha/an
		Hêtre Mn, kg/ha/an	Sapin Mn, kg/ha/an	
Sapinière à Mull	granite grès	1,122 4,972	3,144 8,810	4,266 13,782
Sapinière à Moder	granite grès	0,158 0,266	0,450 1,402	0,608 1,668
Hêtraie à Moder	granite	3,070 5,058	0,024 0,074	3,034 5,132

313 - Quantités annuelles de Mn éch. et Mn f.r. obtenues à partir des litières de Hêtre et Sapin -

D'après les résultats d'incubation, il nous est possible de calculer approximativement les proportions de Mn éch. et Mn f.r. qui résulteront des apports en Mn des litières. La Hêtraie est omise dans ces calculs faute de données d'incubation.

TABEAU II - 46 Proportions de Mn éch. et Mn f.r. par rapport à une transformation à 100 % du Mn des litières d'après les résultats d'incubation (tableau II-28) -

Traitements	Mn ⁺⁺ des litières %	après incubation		
		Mn éch. %	Mn f.r. %	Mn n.e. %
Mull+Hêtre	100	0	96	4
Mull+Sapin	100	0	68	32
Moder+Hêtre	100	15	85	0
Moder+Sapin	100	88	1	11

En appliquant ces proportions aux résultats du tableau II-45 nous avons, en supposant que l'évolution du Mn des litières est indépendant, de la roche-mère :

TABLEAU II - 47 Quantités annuelles de Mn éch. et Mn f.r. obtenu à partir des litières de Hêtre et Sapin -

Sapinière à humus	Roche-mères	L i t t i è r e s				Total	
		Hêtre Mn, kg/ha/an		Sapin Mn, kg/ha/an		Mn, kg/ha/an	
		éch.	f.r.	éch.	f.r.	éch.	f.r.
Mull	granite	0	1,077	0	2,138	0	3,215
		0	4,773	0	5,990	0	10,763
Moder	granite	0,024	0,134	0,396	0,005	0,420	0,139
		0,040	0,226	1,234	0,014	1,274	0,240

3I4 - Conclusions sur le bilan -

1° - Les retombées annuelles en litière sont plus fortes dans la sapinière à Mull que celle à Moder

2° - La richesse en Mn des litières est, en général, plus élevée dans les stations à Mull, respectivement pour chaque roche-mère. Les litières sur grès sont les plus riches en Mn, en tenant compte du type d'humus et de litière (Tableau II-44).

3° - En conséquence, l'apport total en Mn par les litières de Sapin et Hêtre est supérieur chez la sapinière à Mull ; de 3 à 20 fois plus élevé que pour la sapinière à Moder et jusqu'à deux fois plus que la Hêtraie suivant la roche-mère.

4° - Nos essais en incubation ont montré que le manganèse apporté par la litière évolue en grande partie vers la forme facilement réductible, non lessivable, dans les Mull, lorsqu'il reste sous forme échangeable, donc lessivable dans le Moder. Cette évolution différente s'appliquant de surcroît à des retombées totales très inégales, conduit à une accumulation annuelle possible de 25 à 50 fois plus de manganèse facilement réductible dans les Mull que dans les Moder (Tableau II - 47).

5° - La dismutation du manganèse facilement réductible par hydro-périodisme pendant la saison estivale est donc susceptible de libérer des quantités énormes de manganèse échangeable dans le Mull d'où la possibilité d'une intoxication des semis.

Nous allons voir dans les pages suivantes que le dosage du Mn échangeable et facilement réductible dans les humus vérifie le bilan précédent, établi, rappelons-le, par simple calcul à partir des retombées totales annuelles.

32 - LE PHENOMENE D'ALTERNANCE SAPIN-HETRE -

32I - Détermination du Mn éch. et Mn f.r. dans les humus de hêtraies envahies par le Sapin, de sapinières envahies par le Hêtre et de sapinières pures -

A) Résultats -

A la suite des observations expérimentales, nous avons cru qu'il serait intéressant de voir les concentrations en Mn éch. et Mn f.r. des humus de sapinières à Hêtre envahies par la hêtraie, de hêtraies envahies par la sapinière et de sapinières pures (voir tableau II-48).

1) D'après ces résultats, nous voyons que les Mull-Moder ou Moder de hêtraies comme les Moder de sapinières contiennent très peu ou pas de Mn f.r. Par contre, tous les Mull de sapinières à Hêtre en contiennent beaucoup et jusqu'à 9,57 me pour 100 grammes.

2) Si l'on compare les quantités de Mn f.r. dans les horizons A_I et B, nous constatons qu'il y a accumulation en A_I dans le cas des Mull et appauvrissement dans le cas du Moder.

3) Sauf pour un cas, le Mn éch. est toujours en plus faible quantité chez les Mull-Moder et Moder de hêtraies que chez les Mull.

B) Interprétation -

Le nombre de relevés ne nous permet pas de nous prononcer sur la relation entre la régénération de Sapin et la concentration en Mn éch. et Mn f.r., d'autant plus que le phénomène de toxicité est de nature physico-chimique.

Tableau II-48. Comparaison des quantités de Mn éch. et Mn F.r. dans les sols de sapinière et hêtraie. Milliéquivalents pour 100 g. séchés à l'air.

Peuplements	Régénération	Roche-Mères	Horizon A		Horizon B	
			Mn éch. me %	Mn F.r. Me %	Mn éch. me %	Mn F.r. me %
Sapinière à hêtre (Mull) Forêt de Mortagne P-51	-	Grès intermédiaire	0,32	9,57	-	-
Sapinière à hêtre (Mull) Forêt de Mortagne P. 49	-	Grès intermédiaire	0,42	3,92	-	-
Sapinière à hêtre (Mull) Ft du Ban d'Etival P-3	Hêtre	Grès intermédiaire	0,32	4,72	Trace	3,33
Sapinière à hêtre (Mull) Forêt de Mortagne P-49	Sapin	Grès intermédiaire	0,24	5,20	-	-
Sapinière à hêtre (Mull) Forêt de Mortagne P-51	Sapin	Grès intermédiaire	0,25	2,95	-	-
Sapinière à hêtre (Mull) Ft du Ban d'Etival P-2	Sapin Hêtre	Grès intermédiaire	0,72	4,83	Trace	3,30
Sapinière à hêtre (Mull) Forêt de Badonviller	Sapin Hêtre	Grès intermédiaire	0,14	3,30	Trace	2,70
Sapinière à hêtre (Mull) Ft de Malmerspach	Hêtre	Grauwacke du Dévonien	0,13	4,89	0,03	0,90
Sapinière à Mull-Moder Ft de Malmerspach	Hêtre Sapin	"	0,09	1,45	0,04	1,84
Sapinière à hêtre (Mull) Forêt de Saint-Quirin	Hêtre	Grès intermédiaire	0,05	2,94	0,01	-
Sapinière à Moder Forêt de Saint-Quirin	Sapin	Conglomérat	0,44	0,55	Trace	0,01
Sapinière à Moder Forêt du Ban d'Etival	Sapin	Conglomérat	0,05	0,07	Trace	-
Hêtraie à Chêne Forêt de Badonviller	Sapin	Grès intermédiaire	0,00	0,49	Trace	1,85
Hêtraie à Chêne Forêt de Badonviller	Sapin	Grès vosgien	0,08	0,45	Trace	2,03
Hêtraie à Chêne Forêt de Badonviller	Sapin	Grès intermédiaire	0,11	0,39	Trace	2,73
Hêtraie à Chêne Forêt de Tendon	-	Granite	0,07	-	-	-

Cependant, il est reconnu que l'absence de régénération est liée au type d'humus Mull qui, règle générale, est riche en Mn facilement réductible. Au contraire, le Sapin se régénère très bien sur le Moder qui contient peu ou pas de Mn facilement réductible. Mais le tableau II-48 nous montre qu'il existe des cas où une régénération a pu s'installer sur des Mull bien qu'il soient riches en Mn facilement réductible.

Donc, nous pouvons formuler l'hypothèse que le Mn facilement réductible n'est pas directement toxique mais qu'en période de sécheresse, lorsqu'il a atteint une certaine concentration, il serait à l'origine de la toxicité manganique en se dismutant. D'ailleurs ROUSSEAU (1960) a montré qu'une phase de dessiccation était nécessaire pour mettre en évidence la toxicité manganique.

Rappelons à ce sujet les résultats de nos incubations ayant subi l'hypogéopériodisme :

Nous avons vu que l'alternance de sécheresse et d'humidité provoquait une dismutation du Mn f.r. au profit du Mn éch. Par exemple, quatre alternances de ce genre ont élevé la concentration en Mn éch. à 1,296, 0,636 et 1,741 mg pour 100 grammes de mélange des traitements Mull+Hêtre, Mull+Sapin et Mull-témoin (tableau II-24), ce qui fait 356, 175 et 478 p.p.m. Dans le cas d'une seule alternance pour le Mull (témoin), nous obtenons 168 p.p.m. Ces chiffres sont supérieurs à la plus forte concentration en hydroponique utilisé par l'expérience de ROUSSEAU (1960) : 110 p.p.m. Donc la concentration du Mn éch. est dépendante de la concentration en Mn f.r. et indirectement des variations d'humidité de l'humus ; ce dernier facteur dépendant du climat.

Par ce fait, il est très possible que malgré une forte concentration en Mn f.r. une régénération en Sapin puisse s'accomplir à condition que les

3 ou 4 saisons estivales qui suivront une germination ne soient pas marquées par de fortes sécheresses. Ce qui expliquerait la présence d'une régénération sur des humus Mull pouvant être toxiques par leur réserve en Mn f.r.

Les germinations qui seraient suivies d'été avec période sèche seraient condamnées, car la dismutation du Mn f.r. provoquerait une intoxication manganique.

Il a été observé qu'une régénération âgée de 4 ou 5 ans ne pouvait être détruite et avait passé le cap de survie car son enracinement avait atteint la base de l'horizon A_I et l'horizon B. L'objection de la présence de forte concentration en Mn f.r. dans l'horizon B ne prévaut pas sur le plan toxicité car cet horizon comme la base de l'horizon A_I ne subissent jamais de dessèchement total et le Mn éch. est à l'état de trace dans les horizons B.

L'intoxication des semis de sapins sur les Mull doit donc être considérée comme le résultat de la conjugaison d'un facteur microbiologique permanent et un facteur climatique occasionnel.

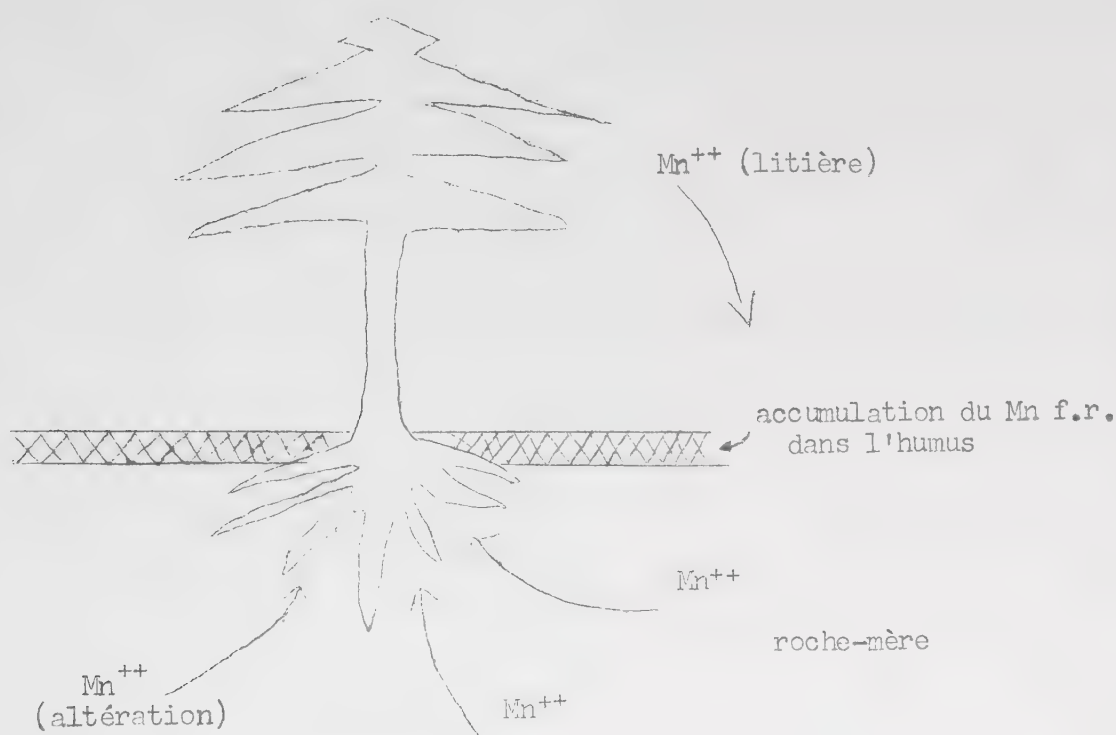
Le facteur microbiologique est responsable de l'accumulation du Mn f.r. dans les Mull de sapinière à Hêtre. Comment s'accomplit cette accumulation ? Par le jeu de la roche-mère et de la microflore du Mull :

La roche-mère : Suivant qu'elle est plus ou moins riche en Mn (le grès intermédiaire contient par exemple Mn O2 comme mentionné dans la 1ère partie), favorise une assimilation par les plantes qui retourne celui-ci à l'humus de la litière. La microflore du Mull transforme le Mn des litières en Mn facilement réductible qui s'accumule lentement dans l'humus jusqu'à atteindre une concentration telle qu'une seule dismutation peut accroître très fortement le taux de Mn échangeable dans l'humus et être toxique aux semis de sapin.

Donc les plantes, et en particulier les arbres (Hêtre, Sapin) assimilent

le Mn à partir des horizons du profil et surtout de la roche-mère par l'exploration de leur système racinaire ; le Mn est retourné à l'humus par la litière et concentré sous forme de Mn facilement réductible dans l'horizon AI (Mull) grâce à une microflore très active et un pH acide favorable.

TABIEAU II - 49 Schéma d'accumulation du Mn -



322 - Essai d'un schéma explicatif de l'alternance sapinière à Hêtre -
Hêtraie -

Le Mn, par sa forme facilement réductible semblerait être le facteur clé de l'alternance sapinière à Hêtre-Hêtraie, en empêchant la régénération du Sapin par un processus physico-chimique dépendant d'effet climatique.

L'évolution suivante de la sapinière à Hêtre basée sur l'accumulation du Mn f.r. aurait lieu : l'humus Mull de la sapinière à Hêtre, très riche en

Mn f.r. qui favorise une forte concentration en Mn éch. par l'effet des sécheresses, serait toxique aux semis de Sapin. Le Hêtre envahirait la station d'où évolution de la sapinière à Hêtre vers la hêtraie pure, qui dégrade l'humus Mull en un Mull-Moder et enfin en un Moder, comme nous l'observons sous les hêtraies actuelles.

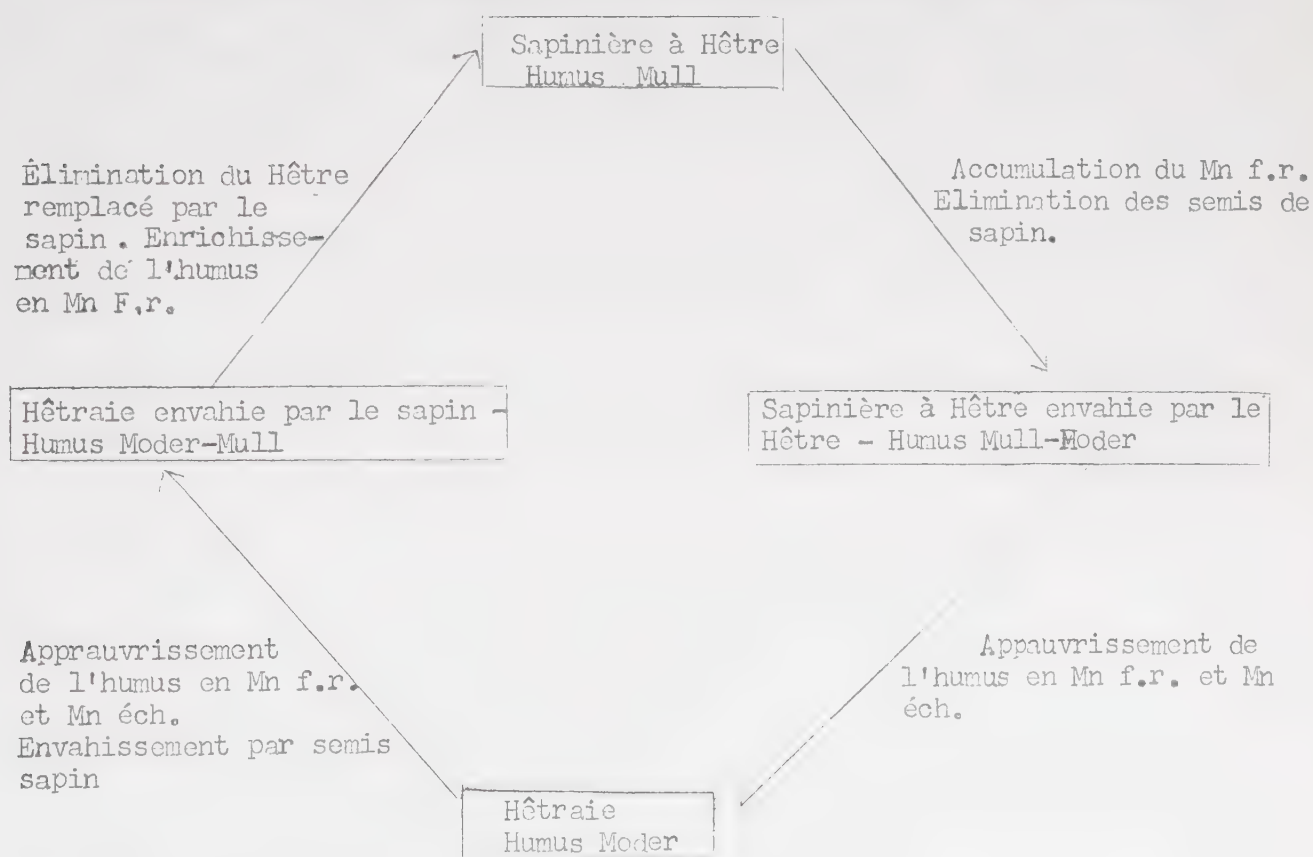
Les analyses d'humus de hêtraie nous ont prouvé le faible taux de Mn f.r. présent, ce qui suppose :

1° - Une évolution différente du Mn des litières due à une microflore active différente de celle du Mull de la sapinière (tableau II-48).

2° - Que cette évolution permette une élimination par lessivage.

Ainsi l'humus de hêtraie serait favorable à la régénération du Sapin, d'où retour vers la sapinière à Hêtre.

TABIEAU II - 50 Schéma de l'alternance Sapinière à Hêtre - Hêtraie -



33 - INFLUENCE DE LA LITIÈRE DE HÊTRE -

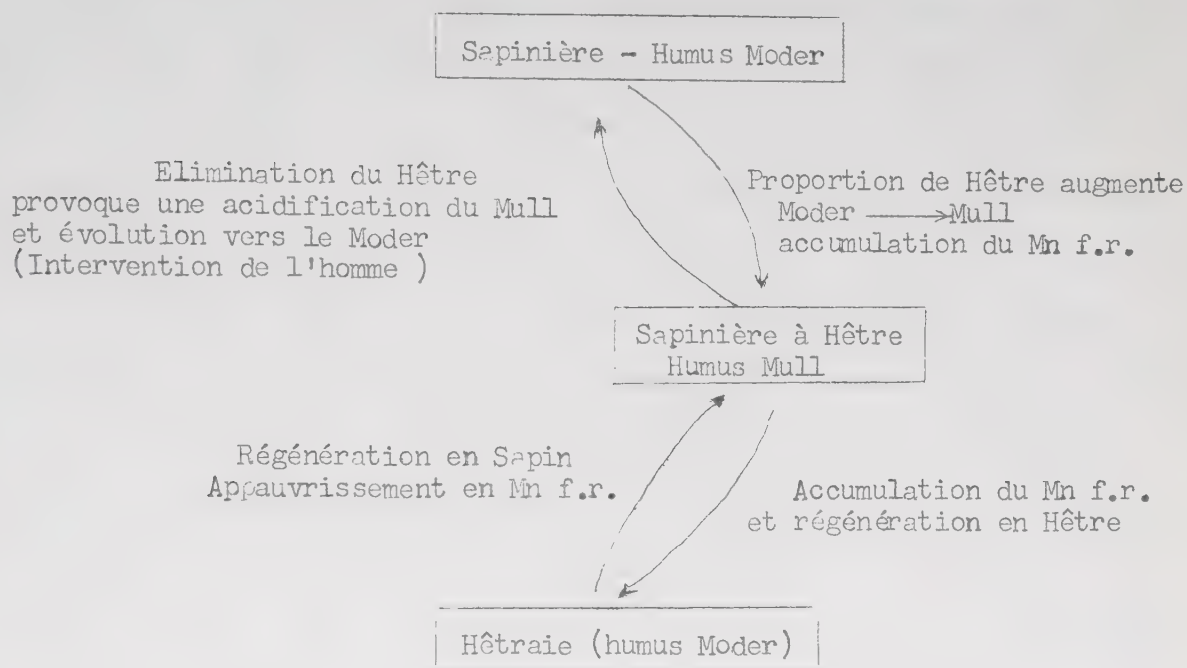
Nous avons vu que le Mn de la litière de Hêtre incorporé au Moder de sapinière devenait sous forme facilement réductible. Donc, il semblerait que la litière de Hêtre favorise le Mn f.r. ce qui semble contraire aux observations faites sur les humus de hêtraie. Deux explications valables peuvent éclaircir cette question :

1° - La microflore de l'humus de hêtraie peut agir autrement à l'égard du Mn de la litière que celle du Moder de sapinière ;

2° - Les humus Mull-Moder et Moder favorisent un lessivage plus intense que le Mull de sorte que l'humus de hêtraie et le Moder de la sapinière s'appauvrissent toujours en Mn. D'ailleurs, les horizons B des hêtraies le prouvent par leur forte concentration en Mn f.r. comparés à l'humus (de 4 à 9 fois plus), (LUKASHEV et PETUKHOVA 1962). Cette dernière explication serait plus plausible et s'appliquerait au cas de la hêtraie comme à celui de la sapinière à Moder.

L'évolution possible d'une sapinière à Moder vers une sapinière à Hêtre à humus Mull, par un accroissement de la proportion de Hêtre dans le peuplement, et le retour vers la Hêtraie à cause de l'intoxication du Mn peut aussi se produire.

TABLEAU II - 5I Schéma de l'évolution d'une sapinière à humus Moder



34 - MESURES PRATIQUES A EXPERIMENTER -

Sur le plan chimique, des essais de chaulage ont été faits expérimentalement sans résultats pratiques, car si le chaulage provoque une diminution du Mn échangeable, son effet bénéfique ne peut être que temporaire. Au contraire, à long terme en favorisant le maintien du Mull et donc de l'accumulation du Mn facilement réductible, il serait plutôt dangereux. Ce dernier, en se dissolvant, peut remonter le taux de Mn éch. une fois l'effet du chaulage passé. Son coût par ailleurs est certainement très élevé.

Sur le plan sylvicole, on pourrait imaginer :

I° - L'acidification de l'humus par l'ouverture plus ou moins forte du peuplement au moment de la mise en régénération.

L'acidification de l'humus par l'ouverture modérée du peuplement

suppose une lente évolution de l'humus Mull vers un Mull-Moder ou Moder, permettant ainsi le lessivage lent du Mn de l'humus et le développement d'une couche humifère brute ou genre Moder au dessus de l'humus Mull dégradé. Le jeune semis de sapin peut ainsi prendre racine sans être sujet à l'intoxication du Mn par dismutation du Mn f.r. Ce traitement sylvicole sera d'autant plus efficace qu'on éliminera complètement le Hêtre qui favorise la production du Mn f.r.

Une ouverture plus forte d'un peuplement conservant quelques semenciers seulement permet l'exposition directe de l'humus Mull aux rayons solaires, favorisant ainsi les dessèchements fréquents de celui-ci. D'où multiplication de l'alternance sécheresse-pluie et destruction rapide du Mn f.r. par dismutation, libérant le Mn éch. qui est lessivé lors des pluies.

Par exemple, quatre alternances de l'humus Mull, d'après l'incubation témoin ont fait dismuter 37 % du Mn f.r. donnant 27 % Mn éch. et 10 % Mn n.e. et 200 cm³ d'eau distillée ont lessivé 6 % du Mn éch. A ce traitement s'oppose l'envahissement possible par les herbes, les mort-bois et le Hêtre ; mais le sapin pouvant se régénérer sous abri, il suffit une fois la régénération accomplie, de le libérer par un recépage. Mieux vaut un recépage définitif libérant une régénération établie que plusieurs recépages du Hêtre envahissant une sapinière à Mull qu'on essaie de régénérer. Ce traitement sylvicole reste donc à être expérimenté.

2° - L'évolution à long terme du Mull de la sapinière à Hêtre vers un Moder par le maintien pendant toute une révolution d'un peuplement de résineux très fermé ; l'absence de chaleur au sol empêchant la formation d'un Mull. Partant d'une sapinière à Mull à régénération insuffisante, ceci implique obligatoirement un complément de régénération par voie de plantation.

Dans ce cas on peut songer à l'emploi de l'Epicea. Cette essence serait d'autant plus intéressante que sa litière favoriserait aussi l'évolution vers le Moder, mais le maintien d'une proportion de Sapin serait nécessaire pour permettre le retour vers la sapinière. Ainsi, nous remplaçons la phase Hêtraie de l'alternance sapinière à Hêtre-hêtraie par une phase à pessière ; l'Epicea étant économiquement plus rentable et certainement plus efficace en regard de l'évolution de l'humus Mull vers un humus Moder. Il y a aussi la possibilité de remplacer le Hêtre par l'Epicea dans la sapinière à Hêtre avec comme conséquence une transformation probable de l'humus Mull en humus Mull-Moder ou Moder mais avec abaissement possible de la fertilité de la station.

L'autre solution est la transformation de la sapinière à Hêtre en forêt de Douglas qui est beaucoup plus productive. Cependant, le problème de l'accumulation du Mn f.r. reste présent car sous peuplement de Douglas l'humus Mull semble être conservé d'après les observations faites jusqu'à présent. La litière de Douglas étant plus favorable à l'humus Mull que celle du Sapin pectiné. Par contre, nous ne savons rien de la résistance et de la sélectivité du Douglas à l'égard du Mn ; des expériences devraient être faites dans ce sens par des cultures en solution hydroponique et semence de graines sur le terrain. Car ce problème du Mn n'est pas que d'ordre physiologique, il est aussi lié à la vigueur de l'espèce. Plus le semis s'accroîtra rapidement, son système racinaire quitte la couche superficielle de l'humus, plus celui-ci sera hors de danger d'une intoxication physico-chimique manganique. A première vue, le Douglas semble prescrit par sa vigueur.

CONCLUSIONS GENERALES

ET

CONCLUSIONS D'ENSEMBLE

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

I - ETUDE DE LA NUTRITION DU SAPIN PECTINE (Abies pectinata D.C.) D'APRÈS CINQ STATIONS VOSGIENNES : LA NUTRITION EN MANGANESE DANS SES RAPPORTS AVEC LA NUTRITION GÉNÉRALE -

Nous avons effectué des analyses foliaires de sapins adultes et de semis sur cinq stations types :

Station 1 - Sol brun acide à Mull sur grès intermédiaire

Stations 2 et 3 - Sol ocre podzolique à Mor et Moder sur grès vosgien et colluvium de conglomérat -

Station 4 - Sol brun acide à Mull sur granite

Station 5 - Sol ocre podzolique à Moder sur granite -

Des analyses statistiques sur les teneurs des aiguilles de sapin en N, P₂O₅, Mg, Ca, K, Mn et Fe nous ont démontré l'existence de différences en nutrition entre les stations sauf 2 et 3 pour tous les éléments sauf le Fe.

1°) La nutrition du sapin en Mn, K est influencée surtout par le type d'humus qui traduit l'activité biologique et l'évolution du profil ; tandis que la nutrition en N, P₂O₅, Mg, Ca est influencée surtout par la composition de la roche-mère.

2°) C'est la teneur en Azote des feuilles qui traduit le mieux la fertilité de la Station (et par conséquent sa productivité en mètre cube). Les sols à mull sont plus productifs que ceux à moder et les sols sur granite plus productifs que ceux sur grès. La fertilité des cinq stations étudiées s'établit dans l'ordre suivant : 1) Sol brun sur granite - 2) sensiblement équivalent, sol brun à mull sur grès et sol podzolique à Moder sur granite - 3) Sol ocre podzolique sur grès ; ce qui reproduit l'ordre de la teneur en N des feuilles.

3°) En ce qui concerne le manganèse, les feuilles de sapin ayant crû sur sols à Mull sont plus riches que celles des sapins qui ont poussé sur sols à Moder ou Mor ; secondairement, les feuilles de sapin ayant poussé sur grès sont plus riches que celles de sapin ayant crû sur granite ; mais l'influence du type d'humus l'emporte nettement sur celle de la roche-mère.

C'est donc sur les stations à Mull les plus riches, celles sur lesquelles la nutrition et la croissance du sapin sont les meilleures, que l'intoxication des jeunes semis par le manganèse est le plus à craindre. Comme la productivité est plus forte dans ces stations, on peut en déduire que la masse totale du manganèse existant dans les retombées annuelles est beaucoup plus considérable pour les stations à Mull que pour les stations à Moder ; cette question est traitée dans la troisième partie.

III - EXPERIENCES AU LABORATOIRE : ETUDE COMPARATIVE DE L'OXYDO-REDUCTION ET DE L'EVOLUTION DU MANGANÈSE DANS LES MULL ET DANS LES MODER DE SAPINIÈRE -

Ces expériences effectuées au laboratoire comportent deux parties :

1) Une étude de l'action des microflore des Mull et des Moder sur deux formes du manganèse, en milieu liquide - 2) Des recherches par incubation sur l'évolution du Mn dans ces deux types d'humus, enrichi ou non, en sels de manganèse ou en litière de hêtre et de sapin.

A - Expérience en milieu liquide -

Elles ont été effectuées sur milieu GERRETSEN enrichi a) en MnO_2 - b) en $SO_4 Mn$ - c) en un mélange des deux composés et ensemencé à l'aide des dilutions variées de microflore du Mull et du Moder de sapinière. La microflore du Mull est beaucoup plus active que celle du Moder que ce soit pour réduire et solubiliser le Mn^{4+} de MnO_2 ou pour oxyder et insolubiliser le Mn^{2+} de $MnSO_4$.

Mais le Mn de la litière étant sous forme bivalent (Mn^{2+}) c'est surtout la supériorité du pouvoir oxydant du Mull qui interviendra dans l'évolution du Mn dans les conditions naturelles.

B - Expériences d'incubation des deux types d'humus -

Ces expériences ont consisté à incuber à l'étuve à 28° C les deux types d'humus ayant subi différents traitements pendant 121 jours. Les quatre traitements étaient les suivants : addition de $Mn SO_4$, $Mn O_2$, litière de sapin et litière de hêtre.

Deux expériences de ce type ont été menées parallèlement ; dans la première, l'humidité a été maintenue à 120 % de l'humidité équivalente ; dans la seconde, les échantillons ont été soumis à un hydropériodisme (alternance d'humectation et dessiccation à la périodicité de 4 ou 5 semaines).

On note qu'à l'origine le Mull de sapinière est beaucoup plus riche en manganèse actif que le Moder : ce manganèse est surtout à l'état dit " facilement réductible " dans le Mull, alors qu'il est à l'état bivalent, donc " échangeable " dans le Moder ; dans les litières, qu'il s'agisse de sapin ou de hêtre, le manganèse est exclusivement échangeable et même soluble à 50 % dans 200 ml d'eau.

Les conclusions essentielles de ces recherches sont les suivantes :

1° - Le Mull exerce sur le Manganèse bivalent une action oxydante et le transforme en manganèse facilement réductible ; le Moder au contraire n'exerce pas cette action oxydante.

2° - L'hydropériodisme stimule légèrement l'oxydation du manganèse bivalent dans le Moder, alors qu'il provoque, au sein du Mull une dismutation du manganèse facilement réductible avec augmentation simultanée des deux formes

Mn^{++} et Mn^{4+} . (production de trois fois plus de Mn^{++} que le Mn^{4+}).

3° - L'adjonction des litières provoque une modification très différente de l'activité oxydo-réductrice des humus : la litière de hêtre augmente le pouvoir oxydant du Moder et stimule au sein de cet humus la formation de Mn facilement réductible ; au contraire l'apport de litière de sapin n'exerce pas cette influence.

Autrement dit, les feuilles de hêtre ajoutées à un Moder de sapinière lui confèrent une activité biologique comparable à celle d'un Mull ; ceci nous le verrons, est vérifié par l'étude de l'évolution des microflores.

4° - L'étude détaillée des états d'équilibre entre les diverses formes de manganèse présent dans les humus, avant et après incubation montre nettement que le manganèse facilement réductible ne résulte pas d'une oxydation de Mn^{++} mais d'une réduction de Mn^{4+} ; l'évolution de cette forme de Mn montre l'existence de deux phases dans l'oxydation du manganèse par le Mull : a) une phase d'oxydation aboutissant à la formation de MnO_2 - b) une phase de réduction aboutissant à la formation de Mn facilement réductible.

5° - L'étude des microflores montre une grande ressemblance d'évolution de la microflore totale et de la microflore précipitant le fer des traitements Mull + litière de hêtre, Moder + litière de hêtre et Mull + litière de sapin où le manganèse a subi une même évolution.

La microflore totale, la population d'actinomycètes et la microflore minéralisant et précipitant le fer sont plus nombreuses dans les traitements du Mull que dans le Moder. Le Mull se différencie surtout du Moder par sa population d'actinomycètes. L'adjonction de litière de hêtre au Moder lui confère des caractères biologiques du Mull.

6° - L'incubation stimule la production d'acides fulviques et d'acides humiques,

beaucoup plus fortement chez le Moder-témoin que le Mull-témoin ; ceci paraît lié à l'activité des lignivores acidiphiles plus actifs dans les premiers que dans les seconds (JACQUIN et MANGENOT). L'adjonction de litière de sapin ou de hêtre au Mull modifie peu le processus d'humification mais pratiquée sur le Moder, elle freine la formation d'acides humiques et stimule la formation d'acides fulviques.

III - BILAN DU CYCLE ANNUEL DU MANGANESE : LE PHENOMENE D'ALTERNANCE SAPIN-HETRE -

1° - Compte tenu des teneurs en manganèse bivalent des litières de sapin et hêtre des stations à Mull et à Moder, et de la masse totale des retombées annuelles dans les deux types de station, il est possible de calculer la quantité totale de manganèse, retournant annuellement au sol, par hectare. Cette quantité, de 4 à 14 kg à l'hectare dans les sapinières à Mull ne représente que 0,6 à 1,7 kg à l'hectare dans les sapinières à Moder et 3 à 5 kg à l'hectare dans la hêtraie à Moder.

2° - L'étude comparative des humus de sapinières à hêtre (Mull) et des hêtraies (Moder), montre une accumulation beaucoup plus considérable de manganèse facilement réductible dans le Mull de sapinières. Or, le hêtre apporte au sol une litière qui, en pourcentage de matière sèche n'est pas moins riche en manganèse que celle du sapin ; les apports globaux à l'hectare dans une hêtraie sont comparables à ceux de certaines sapinières à Mull et cependant son humus est beaucoup plus pauvre en cet élément ; il semble donc que ce soit le type d'humus, et l'activité spécifique de sa microflore qui jouent le rôle principal dans l'accumulation du manganèse en surface : le Mull stocke le manganèse sous la forme facilement réductible insoluble, le Moder au

contraire le maintient sous une forme échangeable, donc facilement lessivée en période humide ; la comparaison des retombées annuelles de manganèse provenant des deux types de sapinière ne fait que traduire l'appauvrissement progressif du Moder par lessivage, ou au contraire l'enrichissement lent des Mull par insolubilisation du manganèse : on peut donc admettre que la forte accumulation dans les feuilles de sapin adulte, qui caractérise les stations à Mull, est en fait une conséquence et non une cause des variations de teneur en manganèse assimilable constatée dans les humus.

La présence de hêtre au milieu d'une sapinière favorise la microflore du Mull, donc l'accumulation du manganèse insoluble ; mais dans une hêtraie pure, l'humus évoluant à nouveau vers le Moder, perd son manganèse par lessivage.

CONCLUSION D' ENSEMBLÉ

INFLUENCE DU CYCLE DU MANGANÈSE SUR LA RÉGÉNÉRATION DU SAPIN ET L'ALTERNANCE DES ESSENCES -

On peut donc conclure que le manganèse facilement réductible existe en quantité très faible dans le Moder de sapinière pure, qu'il augmente de façon considérable dans le Mull de sapinière à hêtre, pour diminuer à nouveau fortement dans les hêtraies pures à Moder.

C'est en effet seulement dans les forêts caractérisées par un mélange de deux essences que l'on observe la formation de Mull avec leurs microflores caractéristiques ; la disparition d'une des deux essences et l'évolution vers un peuplement pur provoque une dégradation du Mull vers le Moder.

Or, nous avons pu déduire de nos expériences d'incubation, l'importance fondamentale du type d'humus dans le cycle du manganèse ; le Mull favorise l'accumulation du manganèse facilement réductible alors que dans le Moder, le manganèse reste sous forme échangeable, ce qui facilite son lessivage.

D'autre part, nos recherches concernant l'adjonction de la litière de hêtre à un Moder de sapin, ont montré qu'elle favorisait son évolution vers un Mull et par voie de conséquence, l'accumulation dans cet humus de manganèse facilement réductible.

Mais si le hêtre devient exclusif dans le peuplement, le Mull se transforme en Moder ce qui favorise la conservation du manganèse sous forme bivalent et par conséquent le lessivage de ce dernier : l'humus s'appauvrit à nouveau en manganèse.

Ce cycle contribue à expliquer le problème de la régénération du

sapin et par voie de conséquence celui des causes de l'alternance hêtre-sapin, l'existence d'autres causes n'étant pas exclue.

Règle générale, le sapin se régénère mal sur le Mull et bien sur le Moder ; comme l'a montré ROUSSEAU (1960), ceci s'explique par un phénomène d'intoxication du jeune semis par une absorption exagérée de manganèse échangeable.

Non seulement le Mull est plus riche en manganèse actif (facilement réductible et échangeable) que les Moder mais leur toxicité est considérablement renforcée par l'hydropériodisme ; en période sèche, nous avons vu que, dans les Mull, une dessiccation provoquait une dismutation du manganèse facilement réductible, avec brusque augmentation du manganèse bivalent toxique ; ceci ne se produit pas dans le Moder qui d'ailleurs est pauvre en manganèse facilement réductible.

Dans ces conditions, on comprend qu'une invasion modérée d'une sapinière pure par le hêtre provoquant la formation d'un Mull, freine la régénération du sapin. Par contre, la substitution totale du hêtre au sapin, provoquant le retour à un Moder, favorise la régénération du sapin : ceci expliquerait le phénomène d'alternance.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDER (M.) (1961) - Introduction to soil microbiology
John Wiley and Sons, Inc. New-York and London (1961) -
- AMIOT LP. et BERNIER B. (1962) - Méthodes d'analyse chimique usuelle des sols
et des tissus végétaux.
Les Presses de l'Université Laval 117 p.
- BOQUEL G., KAUFFMAN J. (1963) - Influence du thermopériodisme et de l'hygro-
périodisme sur la formation de l'humus et
l'activité des fixateurs d'azote aérobies li-
bres dans la terre.
Cahiers O.R.S.T.O.M. pédologie, n°2, 1963, 5-7
- BONNER J. et GALATON A.W. (1952) - Principle of plant Physiology
W.H. Freeman and Company - San Francisco -
- DUCHAUFOR Ph. (1965) - Précis de Pédologie
Masson et Cie - Paris VI -
- DUCHAUFOR Ph., PARDE J. - JACAMON M. - DEBAZAC E. -

Un exemple d'utilisation pratique de la carto-
graphie des stations : la forêt du BAN
d'ETIVAL (Vosges)
Extrait de la Revue Forestière Française - Nancy-
- DUCHAUFOR Ph. - JACQUIN F. (1963) -
Recherche d'une méthode d'extraction et de frac-
tionnement des composés humiques contrôlée par
électrophorèse.
Annales Agronomiques 1963, 14, (6), 885-918 -
- EGDELL J.W. et coll. (1960) - Some studies of the colony count technique for
soil bacteria.
Journal applied Bacteriology. 23, 1, 69-86 -
- GAREY et BARBER (1952) - Evaluation of certain factors involved in
increasing manganese availability with sulfur.
Soil Science society of America - Proceeding
1952 - 16 - 173-175
- GERRETSEN F.C. (1937) - Manganese deficiency of oats and its relation
to soil bacteria.
Annals of Botany, 1, 207-230
- HARDER (1919) - U.S. Geology survey professional
Papers n° 113 -

- JONES L.N.R. (1957) - The effect of liming a neutral soil on the cycle of manganese
Plant & soil, 8, 4, 315-327
- La GUNAS Gil, R. (1964) - Relation ship between the Fe, Cu, Mn and Mo content of plants and the quantities present in and the pH of the soil and species of the *Crenius Quercus*.
An. Edapol. Agrotiol. 23 (1/2) 1964 (91-7) -
- LUKASHEV K.I. - PETUKHOVA N.N. (1962) -
The migration an form of accumulation of manganese in soil and plant ot the south eastern forest.
Dokl. Akad. Nauk belorus. SSR 6, 251-254
Ref. Bibliogr. Soils & Fertilizers, XXVI (2) avril 1963. p. 86 (589) -
- MAN P.J.G. - QUASTEL J.H. (1946) -
Manganese metabolisme in soil. Agriculture research concil Unit of soil metabolisme -
Nature août 158, - 154 - 156.
- MATHER K. (1965) - Analyse statistique en biologie
Acta Gauthier-Villars - Paris -
- MAYER - KRAPOLL H. (1964)- Die Düngung im Walde.
Auswertung Lang jähriger Versuche une Erfahrungen.
Dusseldorf 1964 -
- MANGENOT F. - JACQUIN F. (1960) -
Produits d'humification des sciures. Quelques ca -
ractéristiques physiques et chimiques.
Plant & soil, 13, 291-296 -
- MULIER E.G. - GERRETSEN F.C. (1952) -
Manganese in relation to plant growth. Advanced agronomic 4 ; 221-227 -
- PAPAVIZAS G.C. - DAVEY Ch. B. (1959) -
Evaluation of various media and antimicrobial agents for isolation of soil fungi
Soil science, 88 (2) août -1959
- PEN'KOV O.G. (1962) - Manganese and boron in gray cinnamon soils and solonetses in the karabakh steppe in the Kura-Araks Lowlands
Dokl.s. Kh. Akad. Timiryazeva N° 76 113-120
- PERRIAUX J. (1960) - Etude de la série Permo-trissique de la feuille de Bruyère au 50.000e.
Bulletin du service de la carte de Géologie de France, 264, LVIII (1961-1962) -

- POCHON I. - DE BIRJAC H. (1958) - *Traité de microbiologie des sols. Application agronomiques.*
Dunod 92 Bonaparte Paris -
- PORTER J.N. et coll. (1960) - Method for the preferential isolation of actinomycetes from soils.
Applied Microbiology, 8, 3, 174-178 -
- RAO C.R. (1962) - *Advanced statistical Method in Biometric Research.*
John Wiley, New-York -
- ROBICHET (1957) - Recherches sur les oxydes de Fer et de manganèse dans les sols -
Annals agronomiques IV, 1957, 511-522 -
- ROUSSEAU L. (1960) - De l'influence du type d'humus sur le développement des plantules de sapin dans les Vosges.
Extrait des *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts de la station de recherches et expériences* ;
tome XVII, fasc. I, Nancy -
- SANCHEZ et KAMPRATH (1959) -
Effects of liming and organic matter on the availability of native and applied manganese.
Soil science Society of America Proceeding 23-302-304 -
- SNEDECOR G.W. (1956) - *Statistical methods, applied to experiments in agriculture and biology.*
The IOWA state University Press, Ames, IOWA, U.S.A. -
- TOMASSONE R. (1945) - L'analyse des composantes principales.
Centre National de Recherches Forestières, Station Biométrie, Note Scientifique n° 1, Nancy -
- TOMASSONE R. (1945) - L'analyse discriminant progressive : cas de deux populations.
C.N.R.F. - Station Biométrie, 10-65.016 - Nancy -
- TOMASSONE R. (1966) - L'analyse de variance et de covariance Hierarchique -
E.N.R.F. - Station Biométrie note scientifique n° 2 -
NANCY -
- VAVRA. et FREDERIK (1952) -
The effect of sulfur oxydation in the availability of manganese.
Soil science society of America Proceeding 16, 141-144
- VEDY J.C. (1965) - Action des litières en décomposition sur l'évolution des éléments minéraux dans les sols.
Thèse - Faculté des Sciences de Nancy -

2ème THESE

Utilisation des relations entre la végétation du sous-bois et la productivité
des stations pour la classification des forêts -

Vu et Approuvé

Nancy, le 31 Mai 1966

Le Doyen de la faculté des Sciences

J. AUBRY

Vu et Permis d'imprimer

Nancy, le 3 Juin 1966

Le Recteur

Président du Conseil de l'Université

P. IMBS

